

ECP-model:

Simulatiemodel voor energieverbruik, CO₂-verbruik en kg-produktie
in de glastuinbouw

Validatie - analyse van meetresultaten
(deelverslag 4b)

G. Houter
Proefstation voor Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk

PTG-verslag 11

december 1991

De ontwikkeling en validatie van het ECP-model is in opdracht van NOVEM B.V. te Sittard uitgevoerd door het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk. Bij de ontwikkeling van het model is samengewerkt met het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek te Wageningen. De validatie was in samenwerking met Brinkman B.V. te 's-Gravenzande, N.V. Nederlandse Gasunie te Groningen en elf tuinders in het Zuidhollands Glasdistrict.

INHOUDSOPGAVE

	pag.
1. INLEIDING	1
2. MEETRESULTATEN VAN GEWASSEN	2
2.1. Drogestofbepaling van vruchten	2
2.2. Plantslachting van komkommer	3
3. MEETRESULTATEN VAN GASUNIE	4
3.1. Opzet	4
3.2. Rendementsmeting	4
3.3. CO ₂ -concentratie in rookgas	5
3.4. Capaciteit van CO ₂ -ventilator	5
3.5. CO ₂ -produktie uit aardgas	6
4. ANALYSE VAN MEETRESULTATEN VAN INTENSIEVE BEDRIJVEN	7
4.1. Algemeen	7
4.2. Temperatuur kaslucht	7
4.3. Dampdruk kaslucht	8
4.4. CO ₂ -concentratie	8
4.4.1. CO ₂ -verdeling	8
4.4.2. Jaarverloop	9
4.4.3. Dagverloop	10
4.5. Aardgasverbruik	10
4.5.1. Jaarverloop	10
4.5.2. Intensiteit	11
4.5.3. Jaarbelastingduurkromme	11
4.5.4. Branderstand	12
4.6. Warmtevraag en CO ₂ -dosering	12
4.7. Warmtebuffer	13
4.7.1. Jaarverloop	13
4.7.2. Benutting	14
4.7.3. Rendement	15
5. BRONVERMELDING	16

BIJLAGEN:

- I. BEPALING VAN DROGESTOFGEHALTE VAN GEOOGSTE VRUCHTEN
- II. PLANTSLACHTING VAN KOMKOMMER
- III. MEETRESULTATEN VAN GASUNIE
- IV. FIGUREN VAN ANALYSE VAN RESULTATEN VAN INTENSIEVE BEDRIJVEN
- V. THEORETISCHE BEREKENING VAN RENDEMENT WARMTEOPSLAG

1. INLEIDING

In het kader van het NOVEM-project "Simulatie van CO₂-verbruik in de glastuinbouw" is een simulatiemodel, ECP-model, ontwikkeld. Het ECP-model berekent warmte- en CO₂-verbruik en kg-produktie voor een op te geven gewas (komkommer, paprika of tomaat), kas, verwarmingsuitrusting (verwarmingsketel, warmteopslag, alternatieve warmtebron, hetelucht), CO₂-uitrusting (rookgas CO₂, zuiver CO₂) en aan te houden kasklimaat (temperatuur- en CO₂-regime).

Voor de validatie van het ECP-model zijn in het teeltseizoen van 1989 - 1990 op elf bedrijven gegevens verzameld (zie deelverslag 4a). Op twee bedrijven zijn de metingen tot 1 maart 1991 voortgezet.

In dit deelverslag worden de resultaten van de analyse van de gegevens verzameld op de elf meetbedrijven besproken.

Dit verslag is als volgt opgebouwd:

- hoofdstuk 2: gegevens van periodieke drogestofbepalingen aan geoogste vruchten en van plantslachting van een komkommerteelt;
- hoofdstuk 3: resultaten van metingen door Gasunie aan verwarmings- en CO₂-installatie van intensieve meetbedrijven;
- hoofdstuk 4: analyse van resultaten van intensieve meetbedrijven.

In het eindverslag is een overzicht van de overige deelverslagen opgenomen.

2. MEETRESULTATEN VAN GEWASSEN

2.1. Drogestofbepaling van vruchten

Periodiek zijn op de meeste meetbedrijven vruchten meegenomen. Van deze vruchten is op het PTG het drogestofgehalte bepaald. Hierbij zijn de vruchten bij 80 C gedurende 3 tot 4 dagen gedroogd. Bij komkommer, paprika en vleestomaat bestond een monster uit 1 vrucht; bij ronde tomaat uit 3 tot 5 vruchten. In bijlage I van dit deelverslag wordt een overzicht gegeven van de meetresultaten per monster. Hieronder volgt een samenvatting in tabelvorm.

Tabel 1. Overzicht van periodieke drogestofbepalingen van geoogste vruchten op de meetbedrijven.

gewas		drogestofgehalte in %		
komkommer	week	bedrijf 8	bedrijf 9	bedrijf 11
	12	3.4	3.5	3.4
	20	3.3	3.0	3.0
	28	3.6		
	34	3.2	3.4	3.9
	44	3.0	2.8	3.2
paprika (groen)	week	bedrijf 2	bedrijf 6	
	12	5.9		
	20	7.3		
	34	6.7		
	44	5.9	6.3	
paprika (rood)	week	bedrijf 2	bedrijf 6	bedrijf 7
	20		9.0	8.5
	28		8.0	
	34	8.7	9.0	8.8
tomaat (ronde)	week	bedrijf 1	bedrijf 5	bedrijf 10
	12	6.0	5.3	5.2
	20	6.2	5.5	5.7
	28	6.0	5.6	
	34	6.4	5.9	
	36			5.7
	44	6.7		
vleestomaat	week	bedrijf 3		
	45	5.5		

2.2. Plantslachting van komkommer

Op bedrijf 8 zijn aan het einde van de tweede komkommerteelt (zomerteelt) 8 planten verzameld en op het PTC geanalyseerd. Bij de plantslachting is gekeken naar bladoppervlakte, versgewicht en drooggewicht van stengel en bladeren. Omdat het gewas aan het einde van die teelt er nog goed bij stond en nauwelijks gewassnoei was toegepast, kan uit de gegevens een goed beeld van de drogestofaanmaak en -verdeling worden verkregen.

De belangrijkste resultaten van deze plantslachting zijn:

- totaal versgewicht: 26.7 kg.m⁻² (incl. geoogste vruchten)
- totaal drooggewicht: 1.1 kg.m⁻² (incl. geoogste vruchten)
- verdeling drogestof naar vruchten: 68.2 %
- bladoppervlakte: 5.0 m².m⁻²

In bijlage II wordt een uitgebreid overzicht van de plantslachting gegeven.

3. MEETRESULTATEN VAN GASUNIE

3.1. Opzet

Voorafgaand aan de metingen heeft de meetdienst van de Gasunie op de drie intensieve meetbedrijven het rendement van de verwarmingsinstallatie bij verschillende belastingen van de brander bepaald. Hierbij is ook gekeken naar de CO₂-concentratie in de rookgassen. Tot slot is ook de capaciteit van de CO₂-ventilator bepaald. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste resultaten van deze metingen besproken. De bijbehorende figuren zijn in bijlage III opgenomen. Voor een uitgebreide beschrijving van de metingresultaten wordt verwezen naar het door de Gasunie samengestelde rapport (Kiel en Bleeker, 1990). Aanvullend is door de Gasunie de hoeveelheid geproduceerde CO₂ per m³ aardgas berekend.

3.2. Rendementsmeting

De rendementsmetingen zijn bij verschillende belastingen van de brander bepaald. Bij de metingen is alleen naar de luchtzijde gekeken. Dit houdt in dat alleen de temperatuur en luchtsamenstelling van de verbrandingsgassen na de ketel en condensor zijn gemeten. Doordat niet naar de stroomsnelheid en de temperatuur van het water in het verwarmingssysteem is gekeken (de waterzijde), geven de metingen geen beeld van de stilstand- en stralingsverliezen van de verwarmingsinstallatie (Kiel en Bleeker, 1990).

De metingen zijn uitgevoerd bij een opgaande en neergaande belasting. Het rendement van de installatie zonder condensor is bij lage belasting voor bedrijf 1 en 2 ca. 87 % (bijlage III: figuur 1a en 1b). Bij hogere belasting neemt het rendement af tot onder de 84 %. Bij deze twee bedrijven is het verschil tussen de opgaande en neergaande belasting gering. Bij bedrijf 3 is het rendement bij lage belasting minder hoog dan bij een iets hogere belasting (bijlage III: figuur 1c). Bij nog hogere belasting daalt ook hier het rendement maar minder ver dan bij bedrijf 1 en 2. Bij bedrijf 3 is het rendement bij de opgaande belasting iets hoger dan bij de neergaande belasting.

De rendementsmeting van de installatie met condensor is alleen voor bedrijf 1 en 3 uitgevoerd, omdat bij bedrijf 2 het condensornet tijdens de teeltwisseling niet was aangesloten. Bij bedrijf 1 en 3 daalt het rendement van de installatie met condensor bij hoge belasting. Bij een hoge belasting neemt de hoeveelheid rookgas toe. Daardoor moet de condensor meer warmte opnemen. Omdat bij de metingen het condensornet met een te hoge retourtemperatuur terug kwam, was de condensatie onvoldoende.

3.3. CO₂-concentratie in rookgas

Bij de rendementsmetingen is de CO₂-concentratie in het rookgas bij verschillende belastingen van de brander bepaald. Indien de temperatuur van de rookgassen niet te hoog was, is de concentratie ook na de CO₂-ventilator gemeten.

De CO₂-concentratie in het rookgas voor de CO₂-ventilator is bij lage belasting bij bedrijf 1 en 2 ongeveer 9 % (bijlage III: figuur 2a en 2b). Bij hoge belasting stijgt de concentratie naar 10 tot 11 %. Bij bedrijf 3 is de CO₂-concentratie bij lage belasting ongeveer 6 %; bij hoge belasting ligt de CO₂-concentratie ook rond de 10 % (bijlage III: figuur 2c).

Bij de CO₂-ventilator wordt het rookgas verdund met omgevingslucht (uit ketelhuis). Bij lage belasting is de verdunning groter dan bij hogere belasting, omdat onvoldoende rookgas beschikbaar is (bijlage III: figuur 2). Bijvoorbeeld bij bedrijf 1 is de verdunningsfactor bij lage belasting ongeveer 4 (bijlage III: figuur 2b). Bij hogere belasting wordt bij de drie bedrijven het rookgas met ongeveer dezelfde hoeveelheid buitenlucht bijgemengd (verdunningsfactor 2).

3.4. Capaciteit van CO₂-ventilator

De capaciteit van de CO₂-ventilator is afgeleid uit de Qh-curve van de ventilator. Hiervoor heeft de Gasunie de opvoerhoogte van de CO₂-ventilator bepaald. De resultaten van de metingen zijn opgenomen in tabel 2.

Tabel 2. Drukval over en capaciteit van CO₂-ventilator

bedrijf	drukval zonder darmen (mm WK)	drukval met darmen (mm WK)	capaciteit (m ³ .u-1)
1	235	255	3920
2	99	119	1550
3	-	103	2030

3.5. CO₂-produktie uit aardgas

Volgens gegevens van de Gasunie kan de hoeveelheid CO₂ die bij de verbranding van 1 m³ aardgas vrijkomt variëren van 1.8 tot 2.0 kg. Dit hangt af van de samenstelling van het aardgas. In tabel 3 is door de Gasunie (dhr. Kiel) berekend wat deze omrekeningswaarde is gedurende het validatieseizoen. Bij de berekeningen is uitgegaan van de verbranding van de componenten CH₄, C₂H₆ en C₃H₈ en de aanwezigheid van CO₂ in het aardgas zelf.

Tabel 3. Overzicht van produktie van CO₂ in kg bij verbranding van 1 m³o aardgas (gegevens van dhr. Kiel, Gasunie).

periode	plaats	kg CO ₂ per m ³ o aardgas
februari 1990	Bleiswijk	1.913
maart 1990	Bleiswijk	1.926
april 1990	Bleiswijk	1.942
mei 1990	Beverwijk	1.952
juni 1990	Beverwijk	1.973
juli 1990	Beverwijk	1.976
augustus 1990	Beverwijk	1.980
september 1990	Beverwijk	1.906
november 1990	Bleiswijk	1.848
december 1990	Bleiswijk	1.857
januari 1991	Bleiswijk	1.872
februari 1991	Bleiswijk	1.855

In de modelberekeningen wordt met een constante waarde van 1.9 kg CO₂ per m³o aardgas gewerkt.

4. ANALYSE VAN MEETRESULTATEN VAN INTENSIEVE BEDRIJVEN

4.1. Algemeen

In het teeltseizoen 1989-1990 zijn op de drie intensieve bedrijven 5-minuten gegevens verzameld van kasklimaat, klimaatregeling, aardgasverbruik en CO₂-dosering, en op één bedrijf ook gegevens van warmtebuffering. Op twee bedrijven zijn de metingen tot 1 maart 1991 voortgezet. Voor een uitgebreide beschrijving van de bedrijven en de metingen wordt verwezen naar deelverslag 4a.

In dit hoofdstuk worden enkele aspecten van het kasklimaat, aardgasverbruik, CO₂-dosering en warmtebuffering geanalyseerd. Hierbij is voornamelijk gebruik gemaakt van berekende uurgemiddelden. De figuren van dit hoofdstuk zijn in bijlage IV opgenomen. Bij figuren met een dagverloop is de tijd in lokale tijd.

Aangezien de bedrijfsuitrusting grote invloed heeft op het aardgasverbruik en CO₂-dosering volgt hieronder een kort overzicht van de bedrijven:

- bedrijf 1: tomaat
warmtebuffer van 72 m³.ha⁻¹
geen scherm
- bedrijf 2: paprika
geen warmtebuffer
voorzichtig met buisverhoging voor CO₂-dosering
foliescherm
- bedrijf 3: tomaat, tussenplanting vleestomaat
geen warmtebuffer
buisverhoging voor CO₂-dosering

4.2. Temperatuur kaslucht

Voor de validatie is de temperatuur van de kaslucht gemeten in de meetbox van de regeling en in drie extra meetboxen. De ophanghoogte van de meetbox van de regeling was afhankelijk van de gewashoogte (op kophoogte). De drie extra meetboxen hingen op vaste hoogten: meetbox 1 op ca. 80 - 100 cm van grondoppervlak; meetbox 3 in nok; meetbox 2 daartussen (zie bijlage 1 van deelverslag 4a). Voorafgaand aan het meetseizoen zijn de meetboxen op dezelfde hoogte met elkaar vergeleken. Daarbij gaven ze geen verschillen aan.

In figuur 1.1, 1.3 en 1.5 (zie bijlage IV) is het verloop van de minimum, gemiddelde en maximum temperatuur van de kaslucht per dag van de drie bedrijven weergegeven. De temperatuur bij bedrijf 1 en 3 is maximaal 33 C. Bij bedrijf 3 is de temperatuur op 2 dagen in augustus (ca. dag 205) opgelopen naar ruim 35 C. Deze hogere maximum temperatuur kan gevolg zijn van een geringere luchtuitwisseling bij de heersende windrichting, omdat de kas van bedrijf 3 voornamelijk met eenzijdige luchting was uitgerust.

Het verticale temperatuurverschil is bij bedrijf 1 gemiddeld op dagbasis maximaal 1 C (figuur 1.2). Het temperatuurverschil tussen de meetbox van de regeling en meetbox 2 is maximaal 0.5 C (figuur 1.2a). Verder gaf meetbox 1 een iets hogere temperatuur aan dan meetbox 2, doordat meetbox 1 dichterbij de buisrail-verwarming hing (figuur 1.2b).

Meetbox 3 gaf gemiddeld 0.5 C lagere temperatuur aan, doordat de kaslucht boven in de kas aan het kasdek of door luchtuitwisseling met buiten wordt afgekoeld (figuur 1.2c).

De verticale temperatuurverschillen bij bedrijf 2 en 3 (resp. figuur 1.4 en 1.6) zijn van dezelfde grootte als bij bedrijf 1. Alleen bij gebruik van scherm traden grote temperatuurverschillen op. Meetbox 3 (boven scherm) bij bedrijf 2 gaf 11 C lagere temperatuur aan dan meetbox 2 (onder scherm). Bij bedrijf 3 was dit verschil 9 C.

Uit de gemeten temperaturen volgt dat de temperatuur in de meetbox van de regeling een goed beeld geeft van de gemiddelde temperatuur van de kas. Deze waarde is dan ook voor de vergelijking met de gesimuleerde waarde gebruikt.

4.3. Dampdruk kaslucht

De dampdruk van de kaslucht is gemeten in dezelfde meetboxen als van de meting van de temperatuur van de kaslucht.

In figuur 2.1, 2.3 en 2.5 (zie bijlage IV) is het verloop van de minimum, gemiddelde en maximum dampdruk van de kaslucht per dag van de drie bedrijven weergegeven. De gemiddelde dampdruk varieerde tussen 1750 en 2000 N.m-2 waarbij het verschil tussen de maximum en minimum dampdruk per dag varieerde van 750 tot 1250 N.m-2.

Het gemeten verschil in dampdruk tussen de meetboxen was in het algemeen geringer dan 100 N.m-2 (figuur 2.2, 2.4 en 2.6). Alleen bij een gesloten foliescherm was bij bedrijf 2 en 3 de dampdruk boven het scherm (meetbox 3) maximaal 1000 N.m-2 lager dan onder het scherm (meetbox 2) (figuur 2.4c en 2.6c). Verder gaf op enkele dagen de meetbox van de regeling een veel lagere dampdruk aan dan van meetbox 2, doordat de ventilator van de meetbox van de regeling een deel van de dag voor ziektebestrijding was uitgezet. Ook kunnen sterk afwijkende waarden het gevolg zijn van een droog geraakt kousje van de natte bol.

Uit de gemeten dampdrukken volgt dat de dampdruk in de meetbox van de regeling een goed beeld geeft van de gemiddelde dampdruk van de kas. Deze waarde is dan ook voor de vergelijking met de gesimuleerde waarde gebruikt.

4.4. CO₂-concentratie

4.4.1. CO₂-verdeling

De CO₂-concentratie van kaslucht is op de intensieve meetbedrijven op drie plaatsen gemeten, allereerst door de meter van de CO₂-regeling en daarnaast door 2 extra meters. Van deze twee meters hing de eerste in de voorste helft van de kas (= extra meter 1) en de andere in de achterste helft van de kas (= extra meter 2). Uit de meetresultaten weergegeven in de figuren 3.1 t/m 3.4 van bijlage IV kan een beeld van de CO₂-verdeling in de kas worden verkregen.

Bij bedrijf 1 blijkt in de eerste weken van de teelt dat voorin de kas de CO₂-concentratie hoger was dan achterin de kas (figuur 3.1 en 3.2), terwijl in het rest van de teelt geen verschillen werden gemeten (figuur 3.1). Het concentratieverschil in de winter is waarschijnlijk het gevolg van het pulserend doseren, waarbij elke keer opnieuw de druk in de doseerleiding en darmen moet worden opgebouwd. Dit is voorin de kas sneller gebeurd dan achterin de kas, waardoor voorin meer gedoseerd wordt dan achterin. In het overige deel van het jaar is de CO₂-vraag zo groot dat continu gedoseerd kan worden.

Bij bedrijf 2 en 3 zijn aan het begin van de concentratieverschillen tussen voor en achter geringer dan bij bedrijf 1 (figuur 3.3 t/m 3.5). Bij bedrijf 2 gaf de CO₂-meter van de regeling continu een lagere waarde aan dan de twee extra meters (figuur 3.3 en 3.4). Dit is waarschijnlijk het gevolg van een te lange aanzuigleiding, waardoor een geringe onderdruk in de leiding ontstond. Bij bedrijf 3 werd in het algemeen door de CO₂-meter van de regeling een hogere CO₂-concentratie gemeten dan door de twee extra meters (figuur 3.5). Dit is waarschijnlijk het gevolg dat op dit bedrijf de CO₂-meter van de regeling vrij dicht bij de doseerdarm lucht aan zoog. De twee extra CO₂-meters zogen kaslucht aan vanuit twee gewasrijen, één gewasrij zonder en één met doseerdarm.

Uit de gemeten CO₂-concentraties door de drie CO₂-meters volgt dat de gemeten CO₂-concentratie door de twee extra meters een beter beeld van de CO₂-concentratie van de kas geeft dan de CO₂-meter van de regeling. Voor de vergelijking met de simulatie is dan ook de gemiddelde CO₂-concentratie van de twee extra meters gebruikt.

4.4.2. Jaarverloop

Het jaarverloop van de CO₂-concentratie is op 7 uren van de dag bekeken. Voor elk uur is van elke week de minimum, gemiddelde en maximum concentratie berekend. Daarbij is de gemiddelde CO₂-concentratie van de twee extra CO₂-meters gebruikt (zie paragraaf 4.4.1).

In figuur 4.1 t/m 4.3 (zie bijlage IV) zijn allereerst de resultaten per bedrijf gepresenteerd. Voor de drie bedrijven geldt dat in het voorjaar en najaar de hoogste CO₂-concentratie worden bereikt en in de zomer de laagste. Verder is de spreiding van de CO₂-concentratie in de zomer geringer dan in het overige deel van het jaar.

In figuur 4.4 t/m 4.6 (zie bijlage IV) worden de CO₂-concentraties van de bedrijven onderling vergeleken. Dit kan zonder meer worden gedaan, omdat de CO₂-meters periodiek met dezelfde ijkunit zijn geijkt.

De gemiddelde CO₂-concentratie was bij bedrijf 2 in de zomer 's morgens vroeg (om 6 en 9 uur) het hoogste van de drie bedrijven (figuur 4.4). Later op de dag daalde de gemiddelde concentratie van dit bedrijf onder die van bedrijf 1 en 3, omdat bij bedrijf 2 nauwelijks een verhoging van de buis-temperatuur voor CO₂-dosering werd toegepast.

Bij bedrijf 1 is het beeld het omgekeerd van bedrijf 2 (figuur 4.4).

's Morgens vroeg werd in de zomer eerst de warmtebuffer leeggetrokken, voordat warmte met de brander werd opgewekt. Daardoor werd minder rookgas gedoseerd dan op de andere twee bedrijven. Overdag kon door de aanwezigheid van de warmtebuffer langer en meer CO₂ worden gedoseerd, omdat de warmte in de warmtebuffer kon worden opgeslagen.

Als naar de CO₂-concentratie om 12, 15 en 18 uur wordt gekeken, dan blijkt dat vanaf begin maart (dag 60) bedrijf 1 de hoogste gemiddelde CO₂-concentratie van de drie bedrijven heeft bereikt.

Bij bedrijf 2 daalde 's middags de CO₂-concentratie veelvuldig onder de 300 ppm (figuur 4.5). Bij bedrijf 3 kon met een buisverhoging deze lage concentratie voor een deel worden voorkomen. Bij gebruik making van een warmtebuffer daalde de CO₂-concentratie pas aan het einde van de middag onder de buitenwaarde van 350 ppm (bedrijf 1 in figuur 4.5). Waarschijnlijk kon op dat tijdstip geen warmte meer in de warmtebuffer worden opgeslagen. In figuur 4.5d (12 uur) vallen de minima op enkele dagen 175 t/m 250 van bedrijf 1 samen die van bedrijf 2 en 3. Dit is het gevolg van een storing in de CO₂-doseerinstallatie van bedrijf 1, waardoor 's morgens op enkele dagen geen CO₂ is gedoseerd.

In figuur 4.6 zijn de maximum CO₂-concentraties van de drie bedrijven weergegeven. Hieruit blijkt dat er geen grote verschillen in maximum CO₂-concentratie op de uren overdag tussen de bedrijven zijn.

4.4.3. Dagverloop

In figuur 5 van bijlage IV is het dagverloop van de gemiddelde CO₂-concentratie van verschillende weken voor de drie bedrijven weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de laagste CO₂-concentraties midden in de zomer (week 23 en 32) werden gemeten. Bij bedrijf 1 was de gemiddelde concentratie nog altijd boven de 400 ppm, maar bij bedrijf 2 en 3 daalde de concentratie soms onder de buitenwaarde van 350 ppm. In de winter (week 5) kon bij alle bedrijven overdag gemakkelijk 750 ppm worden gehaald.

Uit figuur 5 kan ook een beeld van de lek Dichtheid van de kas worden verkregen. Bij bedrijf 1 en 2, beiden moderne dichte kassen, steeg in week 14 en 41 's nachts de CO₂-concentratie. Deze stijging is het gevolg van de gewasademhaling (dissimilatie). Voor de duidelijkheid: 's nachts werd geen CO₂ gedoseerd. In week 14 en 41 werd 's nachts niet gelucht. Bij bedrijf 3, oudere kas met minder goed afsluitende luchtramen, ontbreekt de stijging. Blijkbaar waren de lekverliezen bij bedrijf 3 veel groter dan bij bedrijf 1 en 2. In week 5 is de gewasomvang nog te gering om 's nachts een duidelijke stijging van de CO₂-concentratie te laten zien.

4.5. Aardgasverbruik

4.5.1. Jaarverloop

In figuren 6.1 t/m 6.4 (zie bijlage IV) is het jaarverloop van het aardgasverbruik weergegeven. Het aardgasverbruik is uitdrukt in normaal-m³ (gecorrigeerd voor calorische waarde, druk en temperatuur).

Uit de figuren 6.1 t/m 6.3 blijkt hoe grillig het aardgasverbruik verloopt. Het verbruik per etmaal (figuren 6.1a, 6.2a en 6.3a) is in de winter ongeveer 3 tot 4 maal zo hoog als in de zomer. Dit seizoeneffect is voornamelijk het gevolg van het verbruik 's nachts (figuren 6.1c, 6.2c en 6.3c), doordat in zomer de nachten korter en minder koud zijn. Het aardgasverbruik overdag vertoont nauwelijks een seizoeneffect (figuren 6.1b, 6.2b en 6.3b).

In figuur 6.4 is het aardgasverbruik per week gemiddeld waardoor het mogelijk is het verbruik van de drie bedrijven onderling met elkaar te vergelijken. In figuur 6.4a blijkt dat bedrijf 2 door het gebruik van het foliescherm in de winter aanzienlijk minder aardgas heeft verstoekt dan bedrijf 1 en 3.

Het verbruik van bedrijf 1 en 3 vertonen op etmaalbasis hetzelfde verloop. Maar door het gebruik van een warmtebuffer bij bedrijf 1 werd overdag bij bedrijf 1 meer en 's nachts juist minder aardgas verbruikt dan bedrijf 3.

4.5.2. Intensiteit

In figuur 7.1 is de intensiteit van het aardgasverbruik voor de drie bedrijven uitgewerkt. Hierbij is voor elke uur bekeken wat het gemiddeld aardgasverbruik was. In tabel 4 staan de beschouwde perioden en het aantal uurwaarnemingen.

Tabel 4. Overzicht van gebruikte data en aantal waarnemingen voor intensiteitskurven van figuur 7.1 en 7.2, en de jaarbelastingduurkrommen van figuur 8.1 en 8.2.

bedrijf	figuur 7.1/8.1		figuur 7.2/8.2	
	periode	aantal waarn.	periode	aantal waarn.
1	1 - 365	8609	41 - 351	7003
2	1 - 343	8228	41 - 351	7003
3	41 - 351	7003	41 - 351	7003

In figuur 7.1a van bedrijf 1 vallen de twee pieken met bedrijfsuren op. Dit zijn de vaste branderstanden waarbij gebufferd werd (70 en 80 m³.ha-1.u-1). Bedrijf 2 blijkt aanzienlijk minder uren een vaste branderstand te hebben aangehouden (figuur 7.1b). Bij de minimum branderstand van 25 m³.ha-1.u-1 zijn de meeste draaiuren gemaakt. Bij dit bedrijf werd op meer dan een kwart van de uren de brander niet gebruikt. Bij bedrijf 3 werd een minimum branderstand van 45 m³.ha-1.u-1 aangehouden voor CO₂-doseren (figuur 7.1c).

In figuur 7.2 zijn de intensiteitskurven van de drie bedrijven samengevoegd. Voor een eerlijke vergelijking van de kurven van de bedrijven zijn alleen die uren genomen waarvan op alle bedrijven het aardgasverbruik is gemeten. De beschouwde periode is eveneens in tabel 4 opgenomen.

4.5.3. Jaarbelastingduurkromme

In figuur 8.1 en 8.2 zijn de jaarbelastingduurkrommen van de drie bedrijven weergegeven. Uit een jaarbelastingduurkromme kan worden afgeleid hoeveel draaiuren het aardgasverbruik groter is dan een bepaalde waarde. In figuur 8.1a is bijvoorbeeld 3000 uur het aardgasverbruik groter dan 100 m³.ha-1.u-1 en 1000 uur groter dan 150 m³.ha-1.u-1. Voor de figuren 8.1 en 8.2 is gebruik gemaakt van dezelfde uren als voor de figuren 7.1 en 7.2.

Uit de vergelijking van de krommen van de bedrijven, figuur 8.2, blijkt dat de kromme van bedrijf 2 duidelijk vlakker is dan van de andere twee bedrijven. Dit is het gevolg van relatief veel uren met een laag aardgasverbruik.

4.5.4. Branderstand

In figuur 9.1 t/m 9.3 is het verband tussen het aardgasverbruik en de branderstand weergegeven. In deze figuren is gewerkt met het momentane verbruik van die waarnemingen waarop de branderstatus constant hoog of laag was. Dit is 4 van de 5 minuten bij hoogtoeren of laagtoeren. Van de vijfde minuut is de branderstatus niet geregistreerd. Dit veroorzaakt de ruis tussen de puntenwolken van hoogtoeren (bovenste puntenwolk) en laagtoeren (onderste puntenwolk).

Per maand zijn de waarnemingen in een figuur opgenomen. In de zomermaanden is het aantal waarnemingen bij hoogtoeren gering. Bij bedrijf 1 was in begin de maximum branderstand foutief in de computer ingevuld. Daardoor komt in figuur 9.1a de branderstand niet verder dan 80 %. Dit is pas in februari herzien (figuur 9.1b).

4.6. Warmtevraag en CO₂-dosering

In figuur 10.1, 10.3 en 10.5 van bijlage IV is de gebruiksduur van de brander voor de drie bedrijven weergegeven. Hierbij is een onderscheid gemaakt tussen draaiuren bij laag toeren en bij hoog toeren. Vervolgens is in figuur 10.2, 10.4 en 10.6 naar het verband tussen warmtevraag (brander aan) en CO₂-dosering gekeken. Voor de duur van CO₂-dosering is het aantal draaiuren van de CO₂-ventilator genomen. Voor het aantal uren dat de brander speciaal voor CO₂-dosering aan is geweest zijn als voorwaarden gesteld:

- CO₂-ventilator aan;
- CO₂-concentratie kaslucht lager dan CO₂-streefwaarde-laag (daaronder pas aanvullende dosering);
- temperatuur van ketel hoger dan 85 C;
- verschil tussen temperatuur van ketel en aanvoertemperatuur van buis minimaal 20 C.

Allereerst zullen de figuren per bedrijf worden besproken. Daarna worden de resultaten van de bedrijven onderling vergeleken. De figuren zijn gebaseerd op gemiddelden van 5 opeenvolgende dagen.

Bij bedrijf 1 blijkt dat hoog toeren bijna alleen in de winter is gebruikt (figuur 10.1). Verder blijkt dat overdag bijna continu de brander aan heeft gestaan. Van deze draaiuren is het grootste deel ook CO₂ gedoseerd (figuur 10.2). Daarbij heeft de brander een groot aantal uren speciaal voor CO₂-dosering aangestaan. In de zomer was dat zelfs gemiddeld 8 uur per dag.

Bij bedrijf 2 zijn meer draaiuren bij hoog toeren gemaakt dan bij bedrijf 1 (figuur 10.3). Overdag is het aantal uren dat de brander aan stond gering. Gemiddeld werd in de zomer 2 uur aanvullend CO₂-gedoseerd (figuur 10.4).

Bij bedrijf 3 is het gebruik van hoog toeren op hetzelfde niveau als bij bedrijf 2 (figuur 10.5). Een groot deel van de dag stond de brander aan. Hiervan werd bijna alle uren CO₂ gedoseerd. In de zomer stond de brander gemiddeld 4 tot 6 uur aan voor CO₂-dosering (figuur 10.6).

Bij de vergelijking van het aantal draaiuren van de branders van de drie bedrijven blijkt overdag het hoge aantal uren bij bedrijf 1 en het lage aantal bij bedrijf 2. 's Nachts is het aantal uren bij bedrijf 1 en 2 geringer dan bij bedrijf 3 (figuur 10.7). Dit is het gevolg van het gebruik van een warmtebuffer bij bedrijf 1. Overdag kan de brander dan meer draaiuren maken. Doordat 's nachts eerst de warmte uit de warmtebuffer wordt gebruikt, is het aantal draaiuren dan geringer. Bedrijf 2 maakte over de hele linie minder draaiuren.

Het aantal uren dat CO₂ gedoseerd werd is bij bedrijf 1 en 3 veel hoger dan bij bedrijf 2 (figuur 10.8a). Dit komt doordat bij bedrijf 2 nauwelijks een verhoging van de buistemperatuur voor CO₂-dosering is toegepast (figuur 10.8b). Bij bedrijf 3 is dit wel gedaan. Daardoor kon tot het begin van de zomer langer CO₂ worden gedoseerd. Maar midden in de zomer kon bedrijf 3 overdag de warmte niet meer kwijt. Bij bedrijf 1 werd de warmte opgeslagen. Daardoor kon in de zomer de brander tot het einde van de middag aan staan voor CO₂-dosering.

4.7. Warmtebuffer

4.7.1. Jaarverloop

Bij gebruik van een warmtebuffer wordt bij warmteopslag het warme water van de ketel boven in de buffer gepompt. Het koude water verlaat de buffer aan de onderzijde. Bij het onttrekken van het warme water wordt dit water boven uit de buffer gepompt. Aan de onderzijde van de buffer stroomt dan het koudere retourwater de buffer binnen.

Voor het verkrijgen van meer inzicht in het gebruik van de warmtebuffer is de temperatuur in de warmtebuffer van bedrijf 1 op 5 hoogten gemeten. In figuur 11.1 is de minimum en maximum temperatuur van elke meethoogte weergegeven. Dit geeft over een jaar een beeld van het gebruik van de warmtebuffer.

Bij bedrijf 1 zakte de minimum temperatuur zelden onder 40 C; de maximum temperatuur was ca. 100 C. De minimum temperatuur wordt bepaald door de temperatuur van het retourwater uit de kas op het moment dat warm water uit de buffer wordt onttrokken. Op warme dagen met een warmtevraag zal een groot deel van de warmte aan het einde van de nacht en 's morgens vroeg uit de buffer worden gehaald. Omdat dan al naar het dagregime opgestookt wordt, kan de retourtemperatuur van het hoofdnet nauwelijks lager dan 40 C zijn. De maximum temperatuur wordt bepaald door de maximum keteltemperatuur.

Uit de temperatuur op hoogte 1 (onder in buffer; figuur 11.1a) blijkt dat de warmtebuffer voor dag 120 en na dag 260 niet volledig benut is, omdat de maximum temperatuur niet boven 45 C uitkomt. De laag op hoogte 3 (midden in buffer; figuur 11.1c) is op deze dagen wel gebruikt. De laag bovenin de buffer, hoogte 5 (figuur 11.1e) is op bijna alle dagen van dag 70 tot 300 gebruikt.

Uit figuur 11.1e blijkt verder dat op dag 209 niet alle opgeslagen warmte uit de warmtebuffer is gehaald, want de minimum temperatuur van hoogte 5 daalde niet verder dan 90 C. Op hoogte 3 is deze temperatuurpiek niet terug te vinden (figuur 11.1c).

Het verloop van het gebruik van de warmtebuffer is in figuur 11.3 op een andere wijze weergegeven. In figuur 11.3a is het startmoment van bufferen en het moment waarop de buffer volledig gevuld is aangegeven. Hiervoor is aangenomen dat dan de temperatuur onder in de buffer minstens 90 C is. De twee getrokken lijnen geven zonsopkomst en zonsondergang aan. De knik is het gevolg van de overgang van wintertijd op zomertijd en weer terug. In de zomer is de start van bufferen globaal om 10 uur en wordt de buffer in 8 uur gevuld. Deze periode van 8 uur zagen we ook al bij figuur 10.2 voor het aantal uur dat de brander aan stond voor CO₂-dosering.

In figuur 11.3b is het moment waarop met het leveren (afstaan van warmte uit buffer) van een volledig gevulde buffer werd begonnen weergegeven. Verder is het tijdstip aangegeven waarop het water bovenin de buffer kouder is dan 50 C (buffer dan leeg). Op de meeste dagen in de buffer geleegd voor zonsopkomst. Alleen rond dag 200 is dit enkele uren later.

4.7.2. Benutting

In figuur 11.2 van bijlage IV is het jaarverloop van de benutting van de warmtebuffer van bedrijf 1 weergegeven. Voor de berekening van de dagelijkse benutting van de buffer is aangenomen dat theoretisch elke dag de buffer van 30 C naar 100 C opgewarmd kan worden (opwarmtraject). De minimum temperatuur van 30 C kan in de praktijk alleen worden gehaald als de onderzijde van de buffer op de retour van een secundair net is aangesloten.

Uit het opwarmtraject van de buffer is dan af te leiden hoeveel warmte er theoretisch opgeslagen kan worden. Deze theoretische waarde is vergeleken met uit meetgegevens afgeleide waarden.

De gemeten benutting is op twee wijzen berekend. Allereerst is uit de meetgegevens van de flowmeter en de temperaturen in de aanvoer en afvoer van de warmtebuffer de netto-warmteflux berekend (figuur 11.2a). Daarnaast is uit de minima en maxima van de temperaturen op de 5 meethoogten ook de netto-warmteflux afgeleid. Hierbij is rekeningen gehouden met de ronde vorm van de warmtebuffer (figuur 11.2b).

De beide berekeningswijzen blijken goed met elkaar overeen te komen (figuur 11.2a en 11.2b). Uit de figuren blijkt verder dat de maximale benutting ca. 75 % is, ofwel het temperatuurinterval waarbinnen de warmtebuffer opgewarmd kan worden is ca. 50 C ($75 \% \cdot 70 \text{ C} = 52.5 \text{ C}$).

In 1990 was de benutting van de warmtebuffer van bedrijf 1 tot dag 120 en na dag 260 gering (ca. 20 %). In de zomerperiode fluctueerde de benutting sterk. Gemiddeld was in die periode de benutting 60 %, ofwel een temperatuurinterval van 45 C.

4.7.3. Rendement

Een deel van de warmte die in een warmtebuffer wordt opgeslagen gaat verloren, omdat de buffer door convectie en warmtestraling warmte aan de omgeving afstaat. Uit de meetgegevens van bedrijf 1 is als volgt het gemiddeld rendement van warmteopslag berekend:

Over enkele perioden van 10 tot 25 dagen zijn de ingaande en uitgaande warmtestromen van de buffer gecumuleerd. Als begin- en eindmomenten zijn tijdstippen gekozen waarop het verticale temperatuurverschil tussen de onderste en de bovenste temperatuursensor in de buffer geringer was dan 1 C. Vervolgens is de warmteinhoud van de buffer op het begin- en eindtijdstip verwerkt in de cumulatieve warmtestromen.

Hieruit volgde een gemiddeld rendement van warmteopslag van 95 %. Deze waarde wijkt niet veel af van de theoretische waarde van 91.8 tot 94.5 % afhankelijk van de uitgangspunten (berekend door dhr. H. Mooren, IKC - Naaldwijk; zie bijlage V). Indien voor andere doeleinden het rendement van warmteopslag nodig is, dan is 92 % een reële waarde. Voor een warmtebuffer met een ongunstige inhoud-oppervlak-verhouding kan een waarde van 90 % worden gebruikt.

5. BRONVERMELDING

Kiel, A. en J.B. Bleeker, 1990. De emissies en rendementen van drie verwarmingsketels bij glastuinbouwbedrijven. Rapport TP/M 90.R.1005, N.V. Nederlandse Gasunie, Groningen, 21 pp.

BIJLAGE I. BEPALING VAN DROGESTOFGEHALTE VAN GEOOGSTE VRUCHTEN

BEDRIJF 1 - tomaat

week	monster	versgewicht	drooggewicht	ds-%
12	1	198.25	11.63	--> 5.87
	2	141.39	8.67	--> 6.13
	---	-----	-----	-----
	gem	169.82	10.15	--> 5.98
20	1	254.55	15.80	--> 6.21
	2	308.63	19.21	--> 6.22
	---	-----	-----	-----
	gem	281.59	17.50	--> 6.22
28	1	381.66	22.16	--> 5.81
	2	431.47	26.51	--> 6.14
	---	-----	-----	-----
	gem	406.57	24.33	--> 5.99
34	1	292.13	19.66	--> 6.73
	2	300.80	18.28	--> 6.08
	---	-----	-----	-----
	gem	296.46	18.97	--> 6.40
44	1	388.17	26.14	--> 6.73
	---	-----	-----	-----
	gem	388.17	26.14	--> 6.73

BEDRIJF 2 - paprika

week	monster	versgewicht	drooggewicht	ds-%	opmerking
12	1	139.98	7.66	--> 5.47	groen
	2	161.87	10.07	--> 6.22	
	3	101.75	6.08	--> 5.98	
	---	-----	-----	-----	
	gem	134.53	7.94	--> 5.90	
20	1	148.23	10.44	--> 7.04	groen
	2	134.84	9.97	--> 7.39	
	3	139.58	10.66	--> 7.64	
	4	119.97	8.49	--> 7.08	
	---	-----	-----	-----	
	gem	135.65	9.89	--> 7.29	
34	1	154.47	10.75	--> 6.96	groen
	2	155.64	10.37	--> 6.66	
	3	134.78	8.88	--> 6.59	
	---	-----	-----	-----	
	gem	148.30	10.00	--> 6.74	
34	1	168.97	15.16	--> 8.97	rood
	2	141.93	11.55	--> 8.14	
	3	140.23	12.50	--> 8.91	
	---	-----	-----	-----	
	gem	150.38	13.07	--> 8.69	
44	1	191.59	11.48	--> 5.99	groen - Medeo
	2	115.50	7.04	--> 6.10	
	3	105.60	6.38	--> 6.04	
	---	-----	-----	-----	
	gem	137.56	8.30	--> 6.03	
44	1	158.59	9.20	--> 5.80	groen - Tango
	2	158.82	9.73	--> 6.13	
	3	140.37	7.85	--> 5.59	
	---	-----	-----	-----	
	gem	152.59	8.93	--> 5.85	

BEDRIJF 3 - vleestomaat

```
-----
      monster  versgewicht  drooggewicht  ds-%
45      1      186.55      10.23  -->  5.48
        2      202.02      11.47  -->  5.68
        3      249.00      13.65  -->  5.48
        4      189.75       9.88  -->  5.21
        5      130.44       7.57  -->  5.80
      ---      -----      -----      ----
      gem      191.55      10.56  -->  5.51
```

BEDRIJF 5 - tomaat

week	monster	versgewicht	drooggewicht	ds-%
12	1	185.51	9.70	--> 5.23
	2	262.54	13.94	--> 5.31
	---	-----	-----	-----
	gem	224.02	11.82	--> 5.28
20	1	299.27	16.87	--> 5.64
	2	336.26	18.29	--> 5.44
	---	-----	-----	-----
	gem	317.77	17.58	--> 5.53
28	1	355.75	19.87	--> 5.59
	2	315.95	17.63	--> 5.58
	---	-----	-----	-----
	gem	335.85	18.75	--> 5.58
34	1	441.68	25.66	--> 5.81
	2	347.15	21.18	--> 6.10
	---	-----	-----	-----
	gem	394.41	23.42	--> 5.94

BEDRIJF 6 - paprika

week	monster	versgewicht	drooggewicht	ds-%	opmerking
20	1	237.46	21.42	--> 9.02	rood
	2	192.31	16.88	--> 8.78	
	3	187.57	17.54	--> 9.35	
	4	138.70	12.20	--> 8.80	
	---	-----	-----	-----	
	gem	189.01	17.01	--> 9.00	
28	1	158.62	11.53	--> 7.27	rood
	2	199.08	17.39	--> 8.74	
	3	171.42	13.10	--> 7.64	
	4	191.15	15.91	--> 8.32	
	---	-----	-----	-----	
	gem	180.07	14.48	--> 8.04	
34	1	232.19	19.94	--> 8.59	rood
	2	166.67	15.20	--> 9.12	
	3	174.01	16.42	--> 9.44	
	---	-----	-----	-----	
	gem	190.96	17.19	--> 9.00	
44	1	136.52	7.63	--> 5.59	groen
	2	177.45	13.35	--> 7.52	
	3	122.54	6.88	--> 5.61	
	4	107.68	6.54	--> 6.07	
	---	-----	-----	-----	
	gem	136.05	8.60	--> 6.32	

BEDRIJF 7 - paprika

.....

week	monster	versgewicht	drooggewicht	ds-%	opmerking
20	1	199.56	15.80	--> 7.92	rood
	2	168.44	14.44	--> 8.57	
	3	183.53	16.16	--> 8.81	
	4	145.82	13.13	--> 9.00	
	---	-----	-----	-----	
	gem	174.34	14.88	--> 8.54	
34	1	216.26	18.71	--> 8.65	rood
	2	224.85	20.32	--> 9.04	
	3	151.66	14.13	--> 9.32	
	4	206.84	17.30	--> 8.36	
	---	-----	-----	-----	
	gem	199.90	17.61	--> 8.81	

BEDRIJF 8 - komkommer

week	monster	versgewicht	drooggewicht	ds-%
12	1	462.72	16.27	--> 3.52
	2	461.51	15.28	--> 3.31
	3	442.54	14.97	--> 3.38
	---	-----	-----	-----
	gem	455.59	15.51	--> 3.40
20	1	573.70	19.37	--> 3.38
	2	534.33	18.28	--> 3.42
	3	484.33	15.53	--> 3.21
	---	-----	-----	-----
	gem	530.79	17.73	--> 3.34
28	1	481.35	17.26	--> 3.59
	2	428.66	15.19	--> 3.54
	3	409.32	15.42	--> 3.77
	---	-----	-----	-----
	gem	439.78	15.96	--> 3.63
34	1	462.55	13.92	--> 3.01
	2	469.95	16.04	--> 3.41
	3	540.12	16.53	--> 3.06
	4	329.57	10.43	--> 3.16
	---	-----	-----	-----
	gem	450.55	14.23	--> 3.16
44	1	283.50	8.21	--> 2.90
	2	353.77	10.78	--> 3.05
	3	377.40	11.38	--> 3.02
	---	-----	-----	-----
	gem	338.22	10.12	--> 2.99

BEDRIJF 9 - komkommer

week	monster	versgewicht	drooggewicht		ds-%
12	1	593.16	20.00	-->	3.37
	2	450.79	15.99	-->	3.55
	3	457.41	16.98	-->	3.71
	---	-----	-----		----
	gem	500.45	17.66	-->	3.53
20	1	428.50	11.76	-->	2.74
	2	480.60	14.70	-->	3.06
	3	521.29	16.00	-->	3.07
	---	-----	-----		----
	gem	476.80	14.15	-->	2.97
34	1	517.20	17.67	-->	3.42
	2	606.12	21.48	-->	3.54
	3	539.06	17.18	-->	3.19
	---	-----	-----		----
	gem	554.13	18.78	-->	3.39
44	1	453.73	12.94	-->	2.85
	2	527.90	14.95	-->	2.83
	---	-----	-----		----
	gem	490.82	13.94	-->	2.84

BEDRIJF 10 - tomaat

week	monster	versgewicht	drooggewicht		ds-%
12	1	227.64	11.62	-->	5.10
	2	261.28	13.92	-->	5.33
	---	-----	-----		----
	gem	244.46	12.77	-->	5.22
20	1	290.59	16.29	-->	5.61
	2	280.75	16.34	-->	5.82
	---	-----	-----		----
	gem	285.67	16.32	-->	5.71
36	1	279.77	15.42	-->	5.51
	2	355.33	20.68	-->	5.82
	---	-----	-----		----
	gem	317.55	18.05	-->	5.68

BEDRIJF 11 - komkommer

week	monster	versgewicht	drooggewicht	ds-%	opmerking
12	1	845.82	27.42	--> 3.24	
	2	510.82	16.92	--> 3.31	
	3	511.95	18.49	--> 3.61	
	---	-----	-----	-----	
	gem	622.86	20.94	--> 3.36	
20	1	674.92	20.54	--> 3.04	
	2	551.22	17.27	--> 3.13	
	3	386.94	11.29	--> 2.92	
	---	-----	-----	-----	
	gem	537.69	16.37	--> 3.04	
34	1	497.55	18.48	--> 3.71	
	2	343.37	12.95	--> 3.77	
	3	444.93	19.25	--> 4.33	
	---	-----	-----	-----	
	gem	428.62	16.89	--> 3.94	
34	1	364.28	20.69	--> 5.68	zwarte vrucht
	2	422.81	23.04	--> 5.45	
	---	-----	-----	-----	
	gem	393.54	21.87	--> 5.56	
44	1	352.17	11.61	--> 3.30	
	2	348.04	10.66	--> 3.06	
	---	-----	-----	-----	
	gem	350.11	11.14	--> 3.18	

BIJLAGE II. PLANTSLACHTING VAN KOMKOMMER

Overzicht van resultaten van plantslachting aan einde van tweede komkommerteelt van bedrijf 8.

teeltgegevens:

- plantdatum: 11 juni 1990
- eerste oogst: 2 juli 1990
- einde teelt: 24 augustus 1990

opmerkingen:

- bladeren incl. steel
- geen vruchten aan hoofdstengel
- vruchten aan ranken zeer klein, want rest werd nog geoogst
- geen verdroogde bladeren aan ranken
- begin een zeer gedrongen groeiwijze, maar geen of nauwelijks effecten op produktie. Wel werd 1 blad meer aan hoofdstengel gevormd.
- 1.56 planten per m²
- gegevens per plant of per beteeld oppervlak
- drogestofverdeling naar wortels is niet bepaald

aanduiding van planten:

- plant 1-4: waarnemingsplanten vruchtgroei; aan looppad
- plant 5-6: planten onder goot naast waarnemingsplanten
- plant 7: plant van elders; aan looppad
- plant 8: plant van elders; onder goot

plant = plantnummer

A = bladeren hoofdstengel (groen) - opp (in m2)
B = " " " - vers (in g)
C = " " " - droog (in g)
D = " " (verdroogd) - vers (in g)
E = " " " - droog (in g)
F = bladeren ranken - opp (in m2)
G = " " - vers (in g)
H = " " - droog (in g)
I = gewicht hoofdstengel - vers (in g)
J = " " - droog (in g)
K = gewicht ranken - vers (in g)
L = " " - droog (in g)
M = vruchten (niet geoogst) - vers (in g)
N = " " " - droog (in g)

plant	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1.88	1061.1	80.6	80.6	28.5	1.26	567.4	48.9
2	1.89	1103.7	87.4	165.2	38.3	1.93	848.0	68.5
3	1.57	1010.5	39.0	62.1	32.9	1.95	871.5	68.6
4	1.40	914.0	72.0	45.3	28.0	2.12	908.6	72.0
5	1.21	772.1	56.7	89.7	33.6	1.98	813.1	65.2
6	1.64	993.5	70.2	37.1	24.7	1.50	640.2	49.4
7	1.73	1039.2	86.7	44.9	27.1	2.01	799.2	69.8
8	1.23	676.1	53.3	65.5	32.4	0.34	122.8	8.4
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
gemid.	1.57	946.3	68.2	73.8	30.7	1.64	696.4	56.4
per m2	2.45	1476.2	106.4	115.1	47.9	2.55	1086.4	88.0

plant	I	J	K	L	M	N
1	499.6	34.7	365.6	21.8	333.6	12.8
2	639.8	45.5	652.5	38.6	426.4	16.8
3	544.7	38.4	547.8	32.0	715.6	26.6
4	555.2	45.3	634.0	36.4	166.4	8.1
5	485.0	35.7	635.6	37.9	201.9	8.3
6	481.6	33.5	498.0	26.7	73.2	3.8
7	506.3	36.1	641.9	38.8	302.5	14.7
8	425.6	30.3	116.8	5.9	67.8	3.0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
gemid.	517.2	37.4	511.5	29.8	285.9	11.8
per m2	806.8	58.3	797.9	46.5	446.0	18.4

gegeven per m2	hoofdstengel + ranken		=	totaal
-----	-----	-----	-----	-----
bladoppervlak	2.45	+	2.55	= 5.00
bladgewicht (groen) - vers	1476.2	+	1086.4	= 2562.6
- droog	106.4	+	88.0	= 194.4
- ds%	7.2		8.1	7.6
bladgewicht (verdroogd) - vers	115.1	+	0.0	= 115.1
- droog	47.9	+	0.0	= 47.9
- ds%	41.6		-	41.6
bladgewicht totaal - vers	1591.4	+	1086.4	= 2677.8
- droog	154.3	+	88.0	= 242.3
- ds%	9.7		8.1	9.0
stengelgewicht - vers	806.8	+	797.9	= 1604.7
- droog	58.3	+	46.5	= 104.8
- ds%	7.2		5.8	6.5
vruchtgewicht (niet geoogst) - vers	0.0	+	446.0	= 446.0
- droog	0.0	+	18.4	= 18.4
- ds%	-		4.1	4.1

geoogst vruchtgewicht - vers	22000.0
- droog (teruggerekend)	726.0
- ds% (periodieke monsters)	3.3

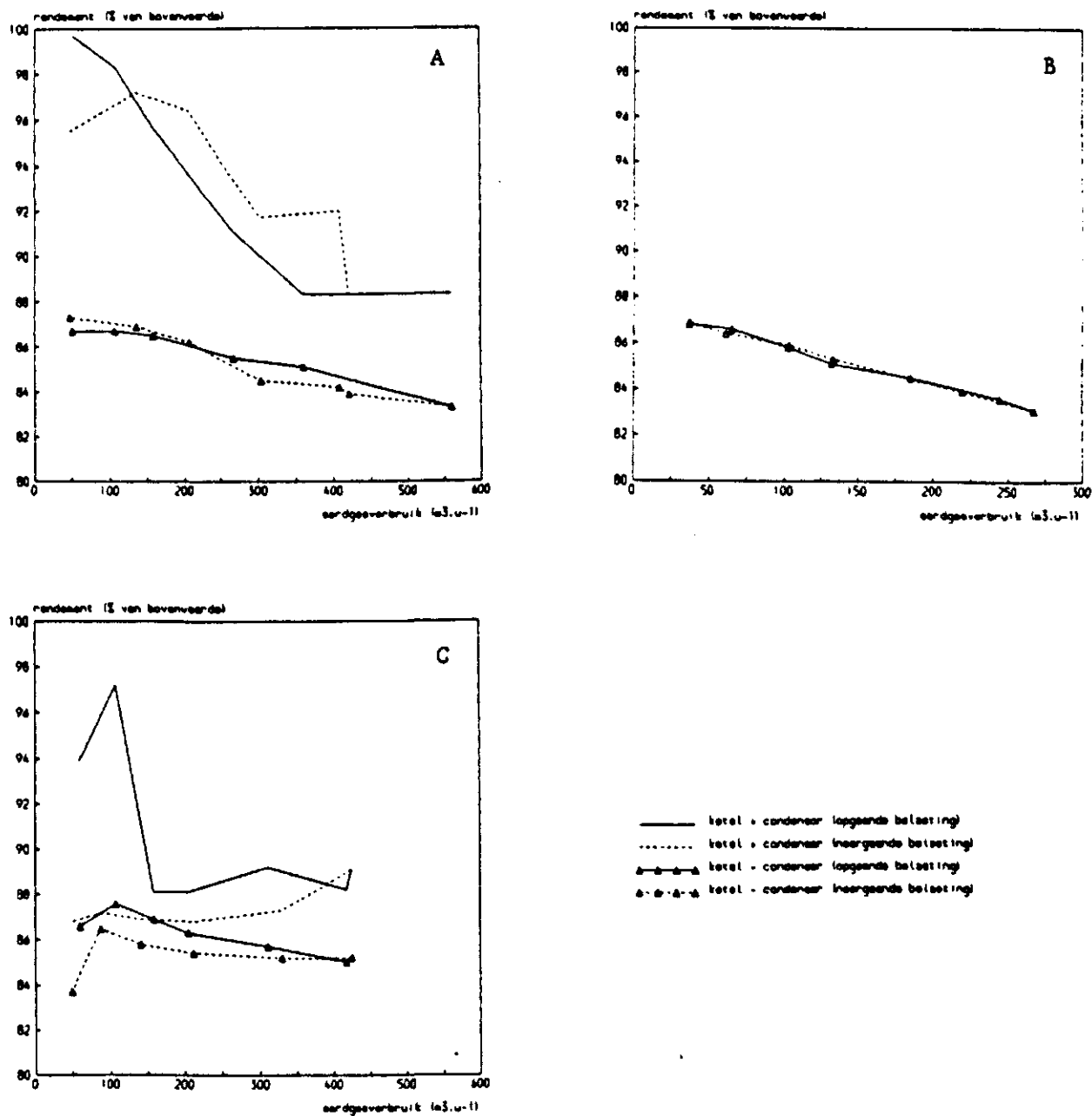
totaal bij slachting - vers	4728.5
- droog	365.5
- ds%	7.7

totaal van teelt - vers	26728.5
- droog	1091.5
- ds%	4.1

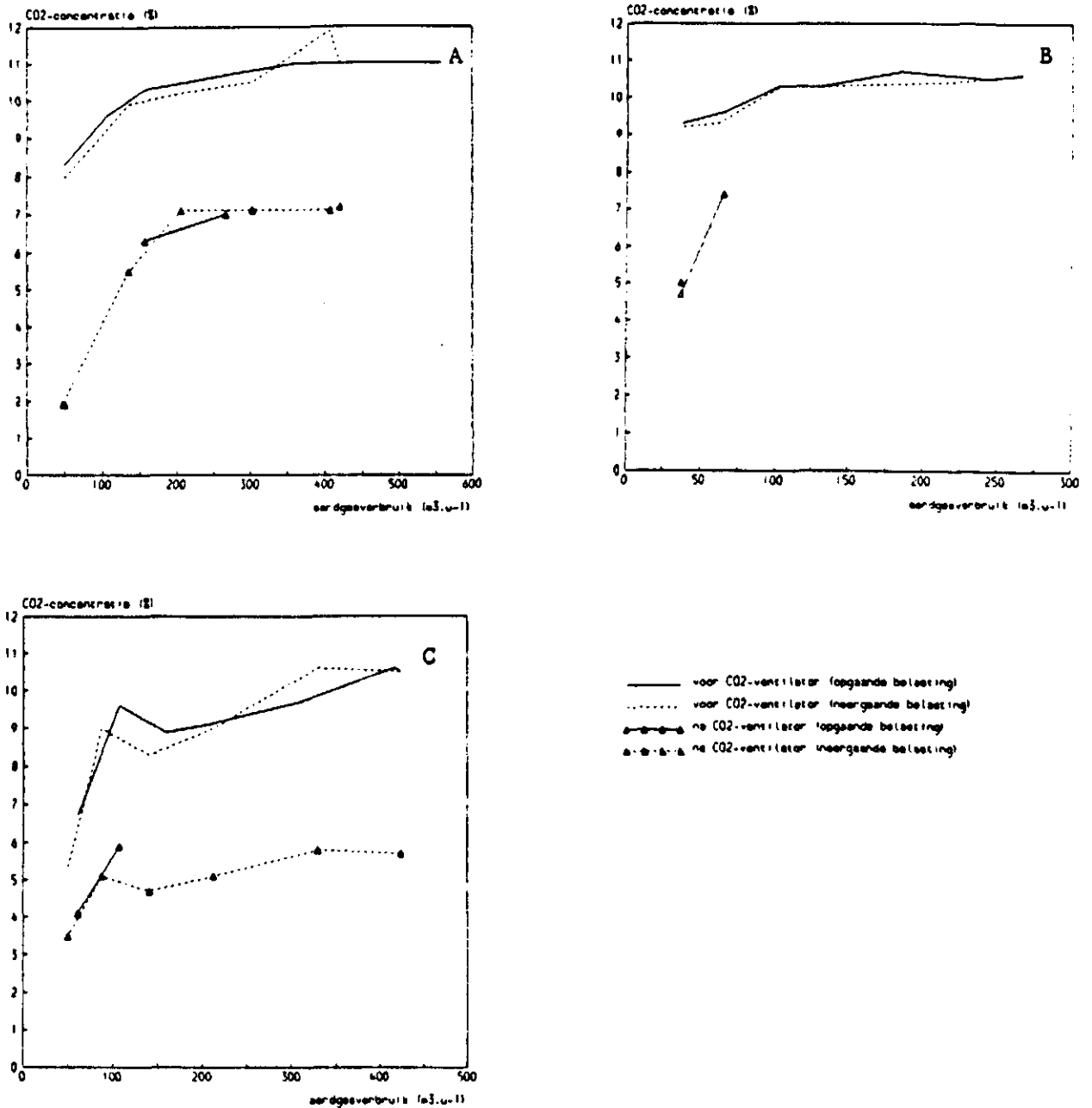
totalen per m2	vers		droog	
	gewicht (g)	% van totaal	gewicht (g)	% van totaal
-----	-----	-----	-----	-----
bladeren	2677.8	10.0	242.3	22.2
stengel	1604.7	6.0	104.8	9.6
vruchten (niet geoogst)	446.0	1.7	18.4	1.7
vruchten (geoogst)	22000.0	82.3	726.0	66.5
-----	-----	-----	-----	-----
totaal	26728.4	100.0	1091.5	100.0

BIJLAGE III. MEETRESULTATEN VAN GASUNIE

In deze bijlage zijn de figuren opgenomen van de belangrijkste meetresultaten van de Gasunie op de intensieve meetbedrijven (hoofdstuk 3).



Figuur III.1. Rendement van ketel met en zonder condensor bij opgaande en neergaande belasting (A = bedrijf 1; B = bedrijf 2; C = bedrijf 3).



Figuur III.2. CO₂-concentratie in rookgas voor en na bijmenging door CO₂-ventilator bij opgaande en neergaande belasting (A = bedrijf 1; B = bedrijf 2; C = bedrijf 3).

BIJLAGE IV. FIGUREN VAN ANALYSE VAN RESULTATEN VAN INTENSIEVE BEDRIJVEN

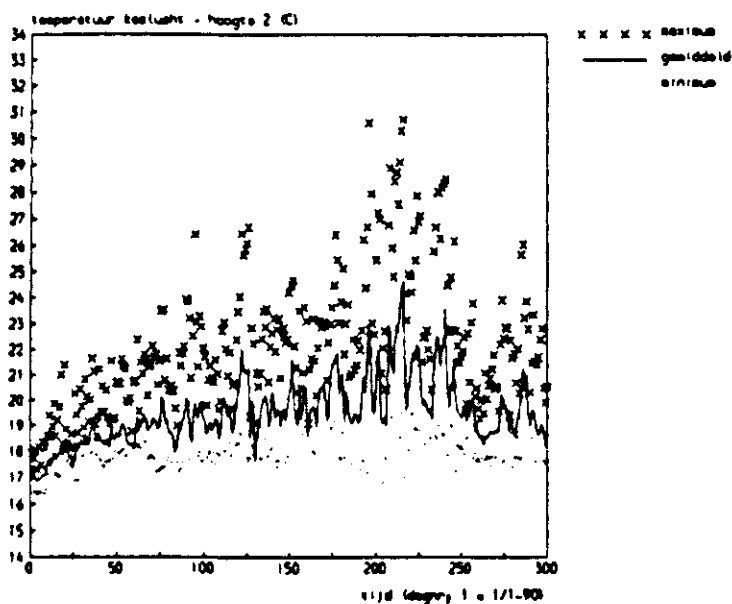
In deze bijlage zijn de figuren opgenomen van de analyse van de meetresultaten van de intensieve meetbedrijven (hoofdstuk 4).

Deze bijlage is onderverdeeld in:

- bijlage IV.1: Temperatuur kaslucht
- bijlage IV.2: Dampdruk kaslucht
- bijlage IV.3: CO₂-verdeling
- bijlage IV.4: Jaarverloop CO₂-concentratie
- bijlage IV.5: Dagverloop CO₂-concentratie
- bijlage IV.6: Jaarverloop aardgasverbruik
- bijlage IV.7: Intensiteit aardgasverbruik
- bijlage IV.8: Jaarbelastingduurkromme
- bijlage IV.9: Aardgasverbruik als functie van branderstand
- bijlage IV.10: Jaarverloop van warmtevraag en CO₂-dosering
- bijlage IV.11: Gebruik van warmtebuffer

BIJLAGE IV.1. TEMPERATUUR KASLUCHT

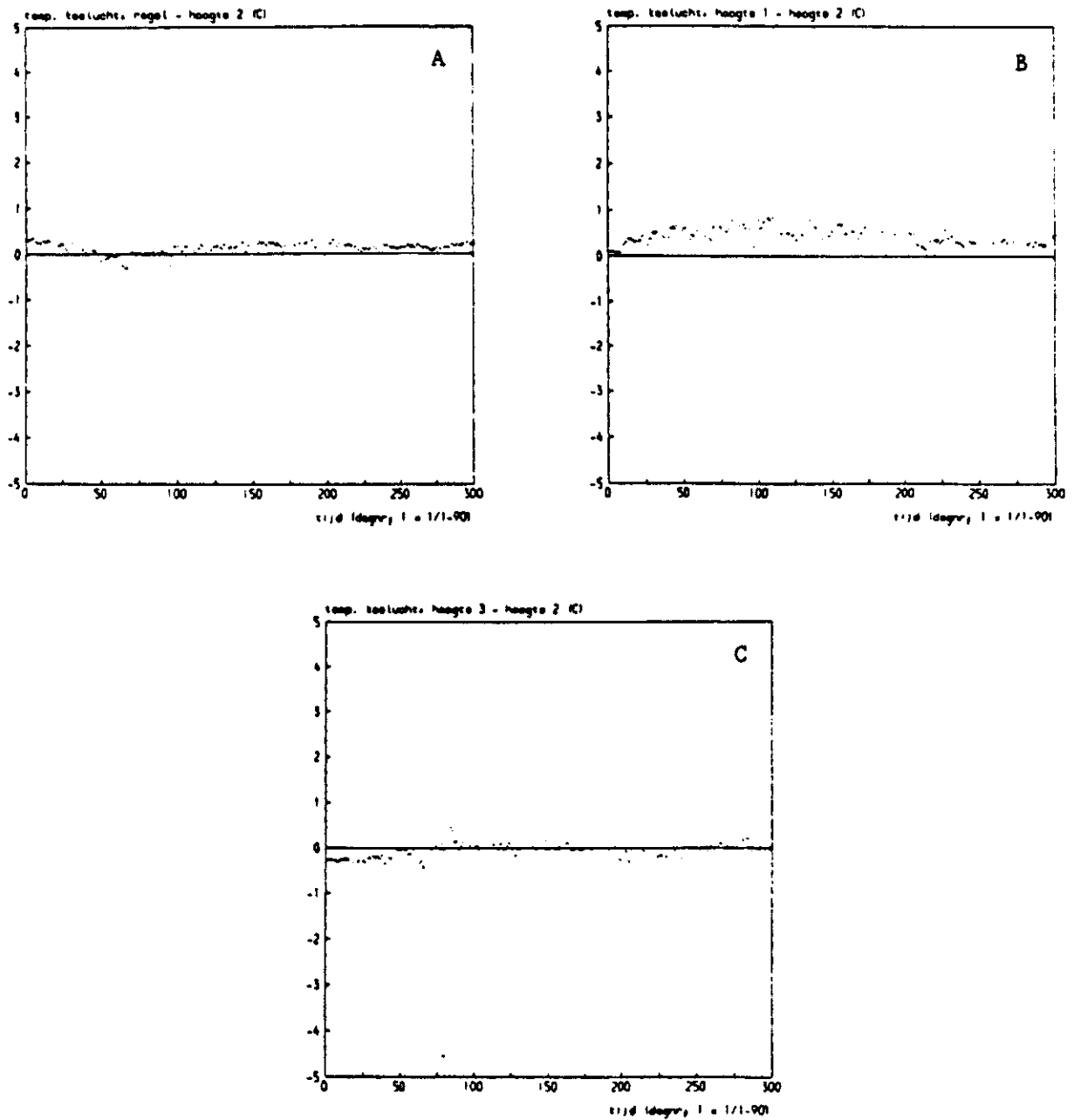
Figuren van paragraaf 4.2



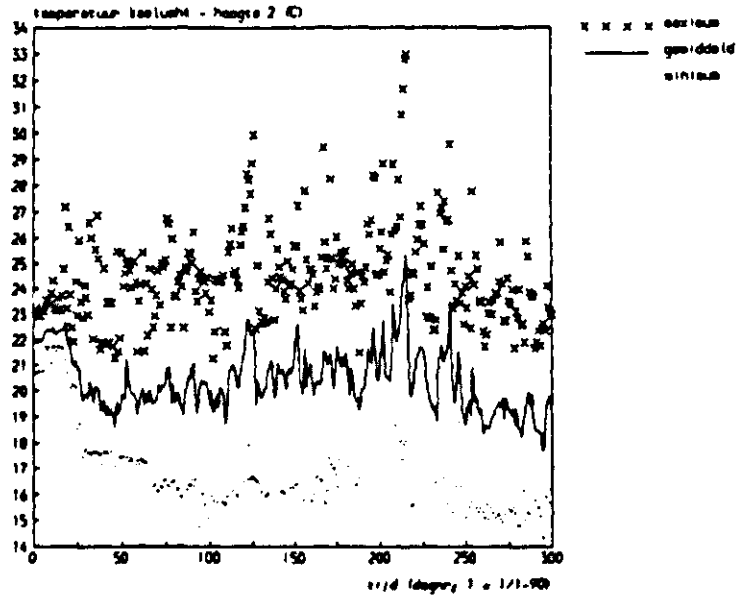
Figuur IV.1.1. Temperatuur kasluicht gemeten door meetbox 2 op bedrijf 1 in 1990. Minimum en maximum zijn gemiddelde uurwaarden.

- opmerking bij figuur IV.1.1 en IV.1.2:

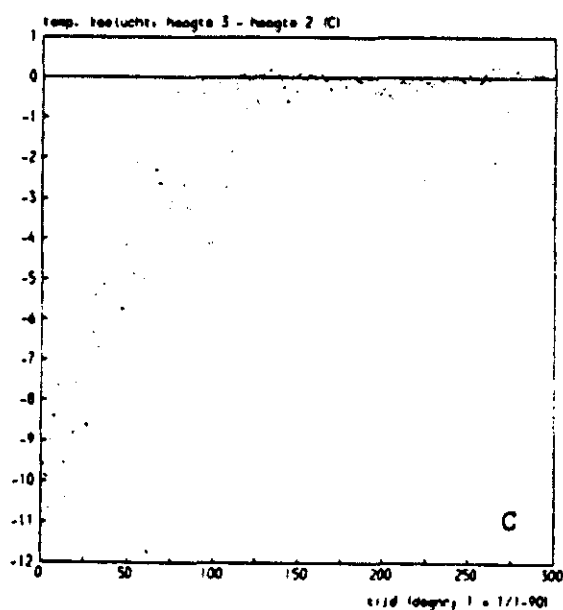
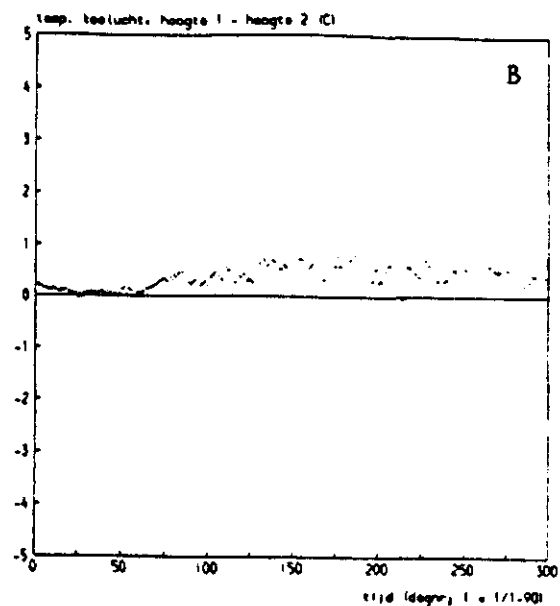
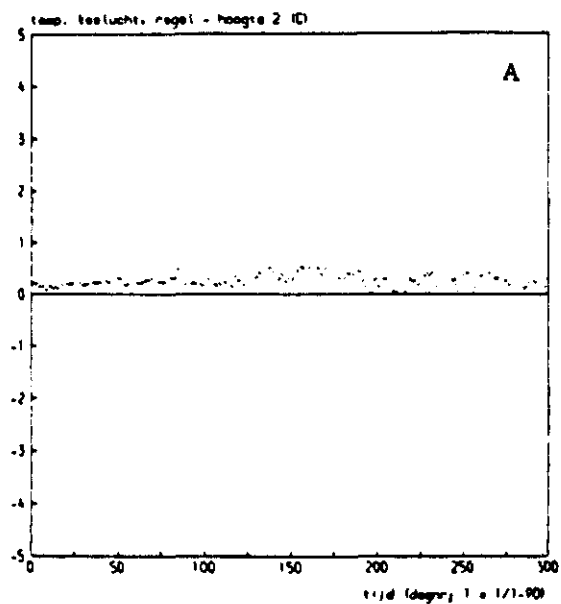
Op dag 195 t/m 198 hebben de ventilatoren van de extra meetboxen uitgestaan. Daardoor is de weergegeven temperatuur niet juist.



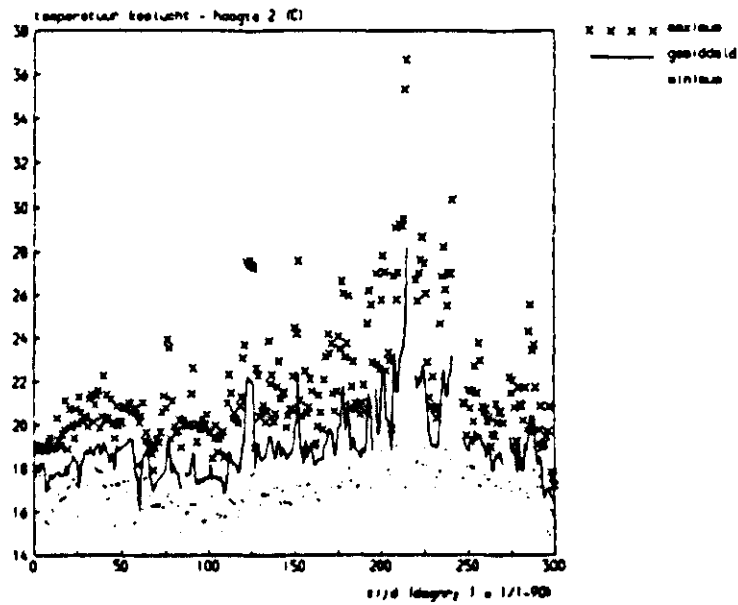
Figuur IV.1.2. Verschil in temperatuur kaslucht tussen diverse meetboxen met als referentie meetbox 2 op bedrijf 1 in 1990 (A = meetbox van regeling; B = meetbox 1; C = meetbox 3).



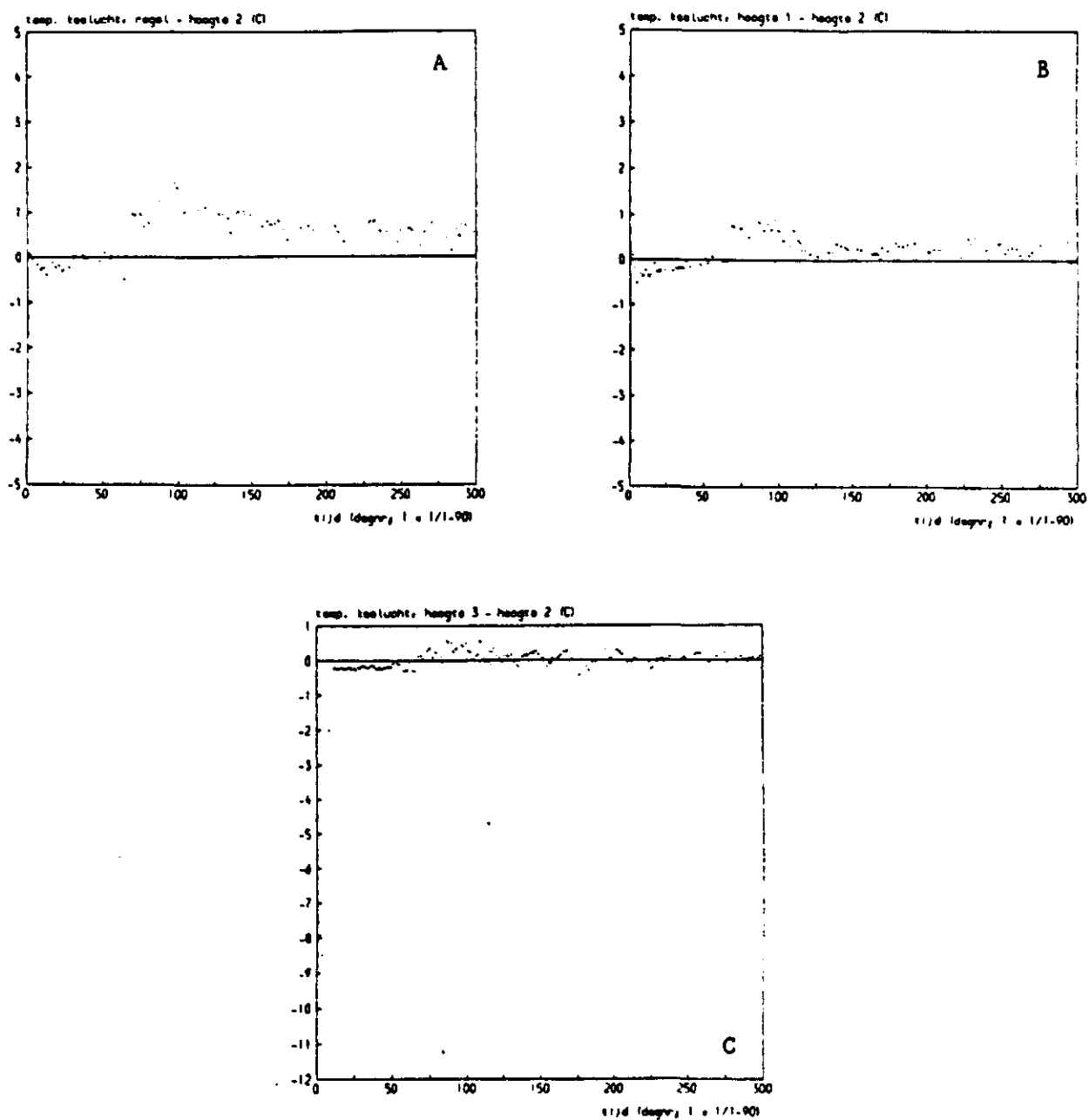
Figuur IV.1.3. Temperatuur kaslucht gemeten door meetbox 2 op bedrijf 2 in 1990. Minimum en maximum zijn gemiddelde uurwaarden.



Figuur IV.1.4. Verschil in temperatuur kaslucht tussen diverse meetboxen met als referentie meetbox 2 op bedrijf 2 in 1990 (A = meetbox van regeling; B = meetbox 1; C = meetbox 3).



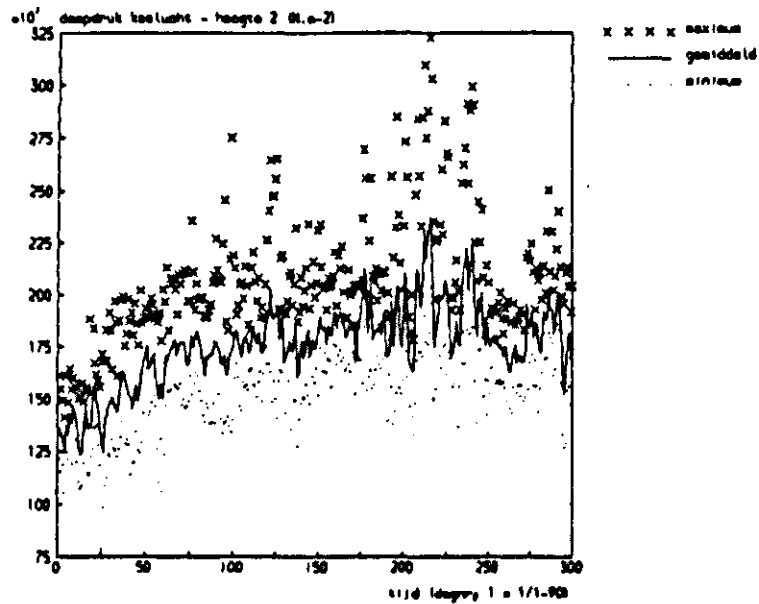
Figuur IV.1.5. Temperatuur kaslucht gemeten door meetbox 2 op bedrijf 3 in 1990. Minimum en maximum zijn gemiddelde uurwaarden.



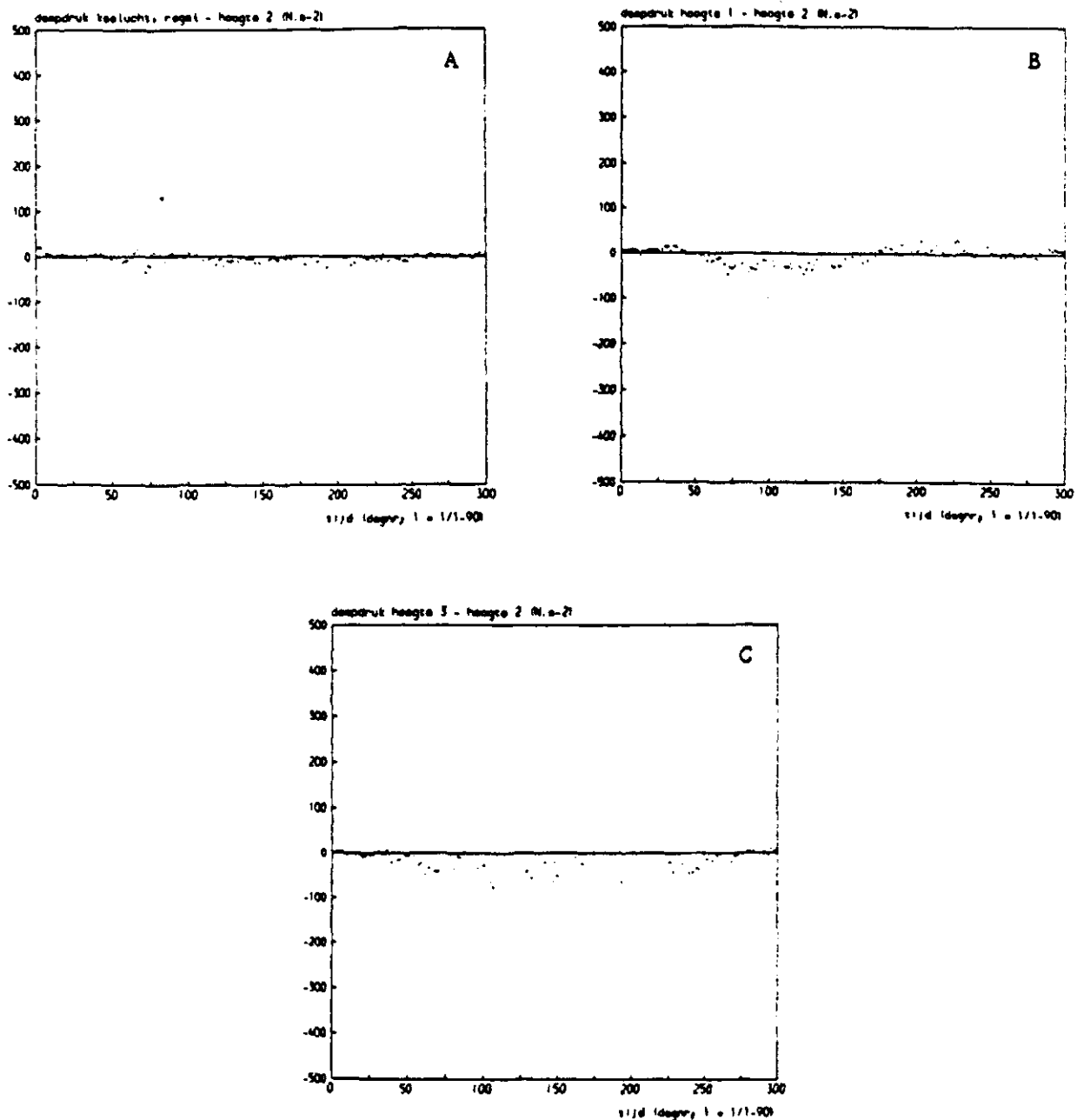
Figuur IV.1.6. Verschil in temperatuur kaslucht tussen diverse meetboxen met als referentie meetbox 2 op bedrijf 3 in 1990 (A = meetbox van regeling; B = meetbox 1; C = meetbox 3).

BIJLAGE IV.2. DAMPDRUK KASLUCHT

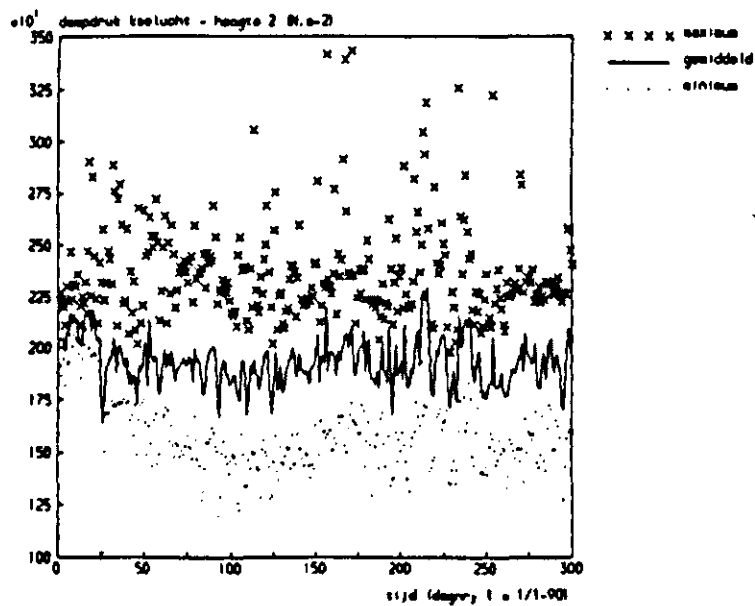
Figuren van paragraaf 4.3



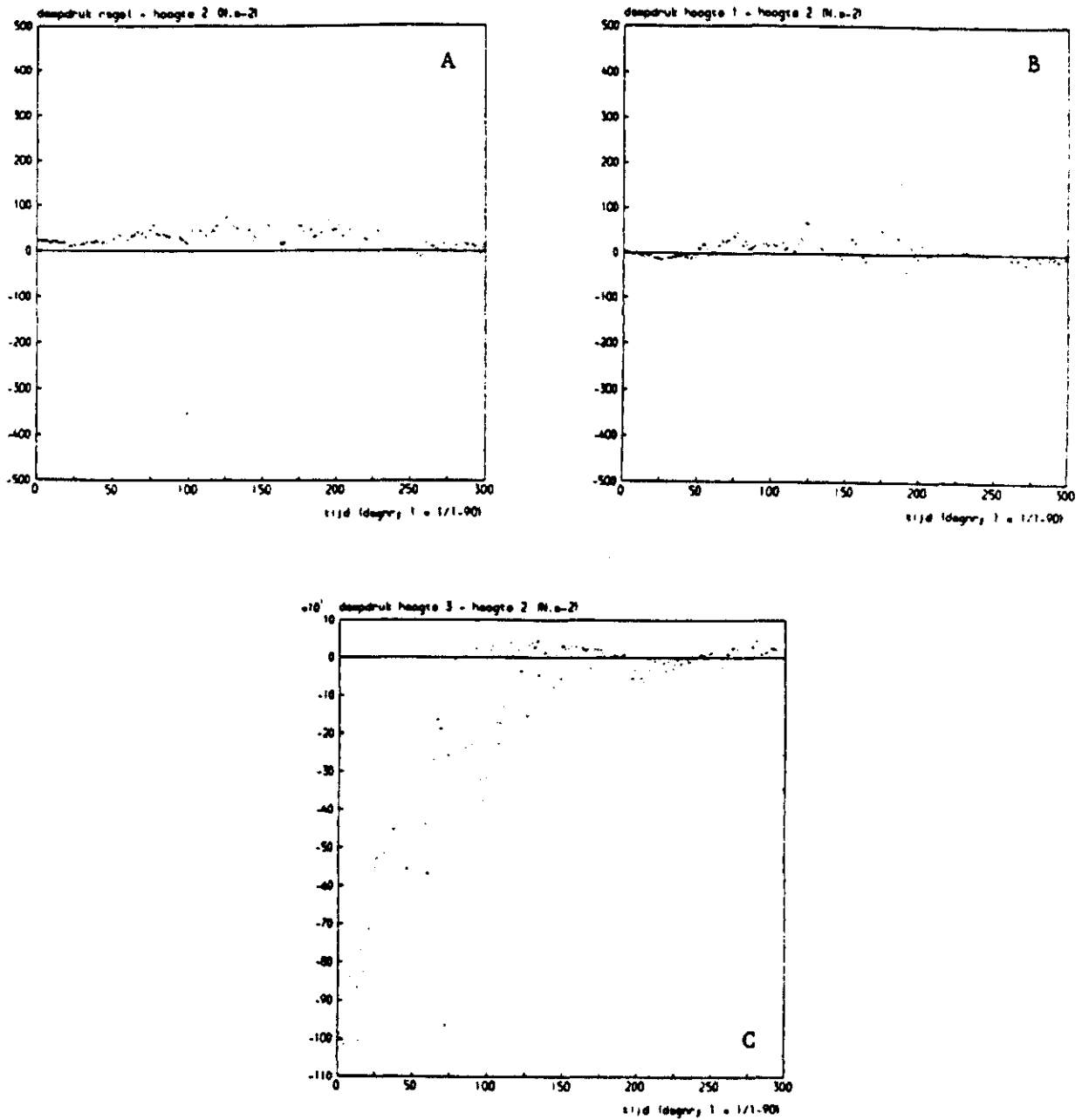
Figuur IV.2.1. Dampdruk kaslucht gemeten door meetbox 2 op bedrijf 1 in 1990. Minimum en maximum zijn gemiddelde uurwaarden.



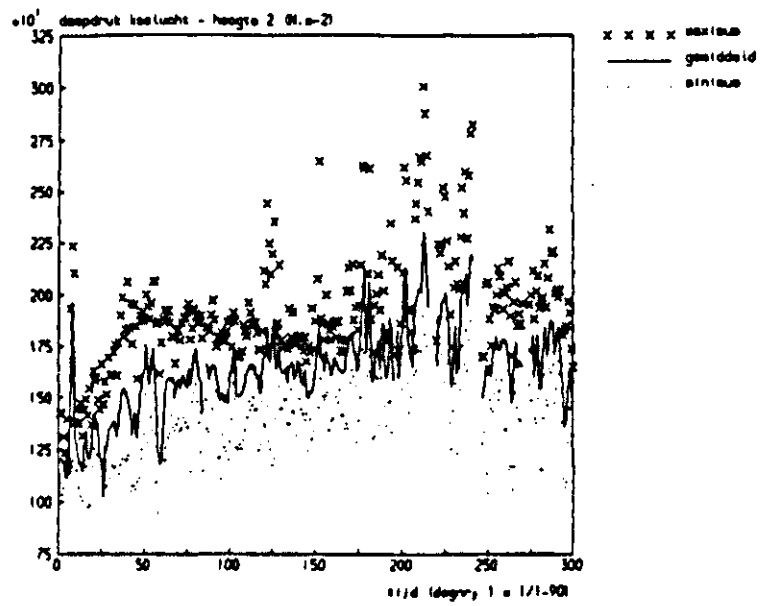
Figuur IV.2.2. Verschil in dampdruk kaslucht tussen diverse meetboxen met als referentie meetbox 2 op bedrijf 1 in 1990 (A = meetbox van regeling; B = meetbox 1; C = meetbox 3).



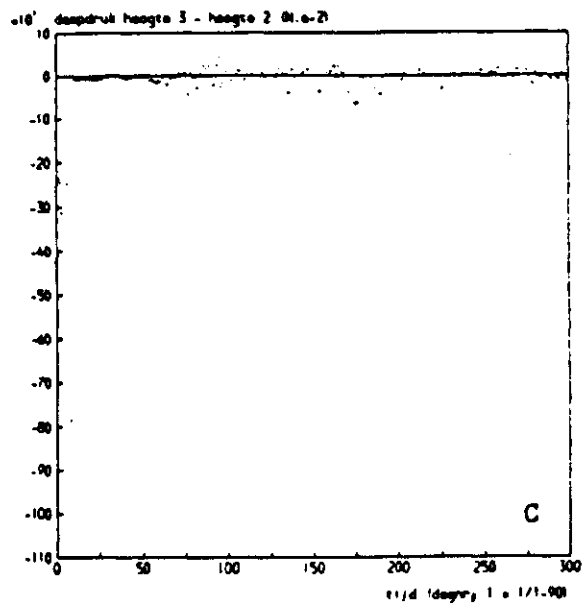
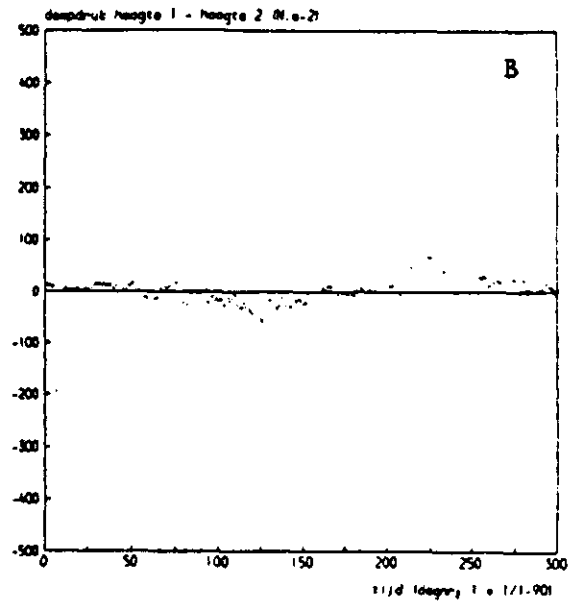
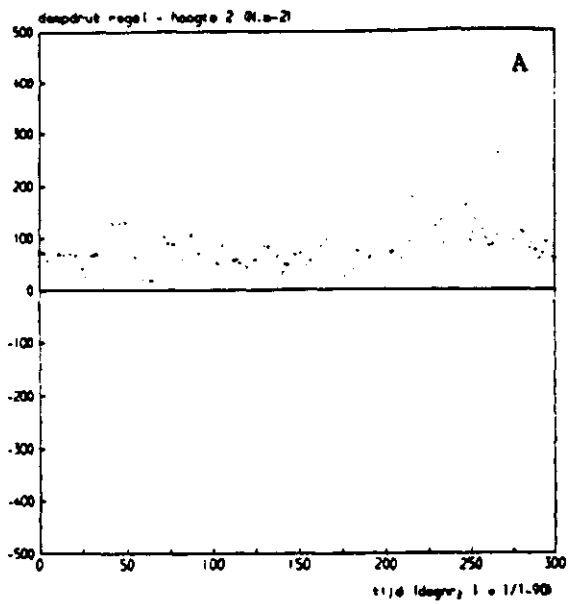
Figuur IV.2.3. Dampdruk kaslucht gemeten door meetbox 2 op bedrijf 2 in 1990. Minimum en maximum zijn gemiddelde uurwaarden.



Figuur IV.2.4. Verschil in dampdruk kaslucht tussen diverse meetboxen met als referentie meetbox 2 op bedrijf 2 in 1990 (A = meetbox van regeling; B = meetbox 1; C = meetbox 3).



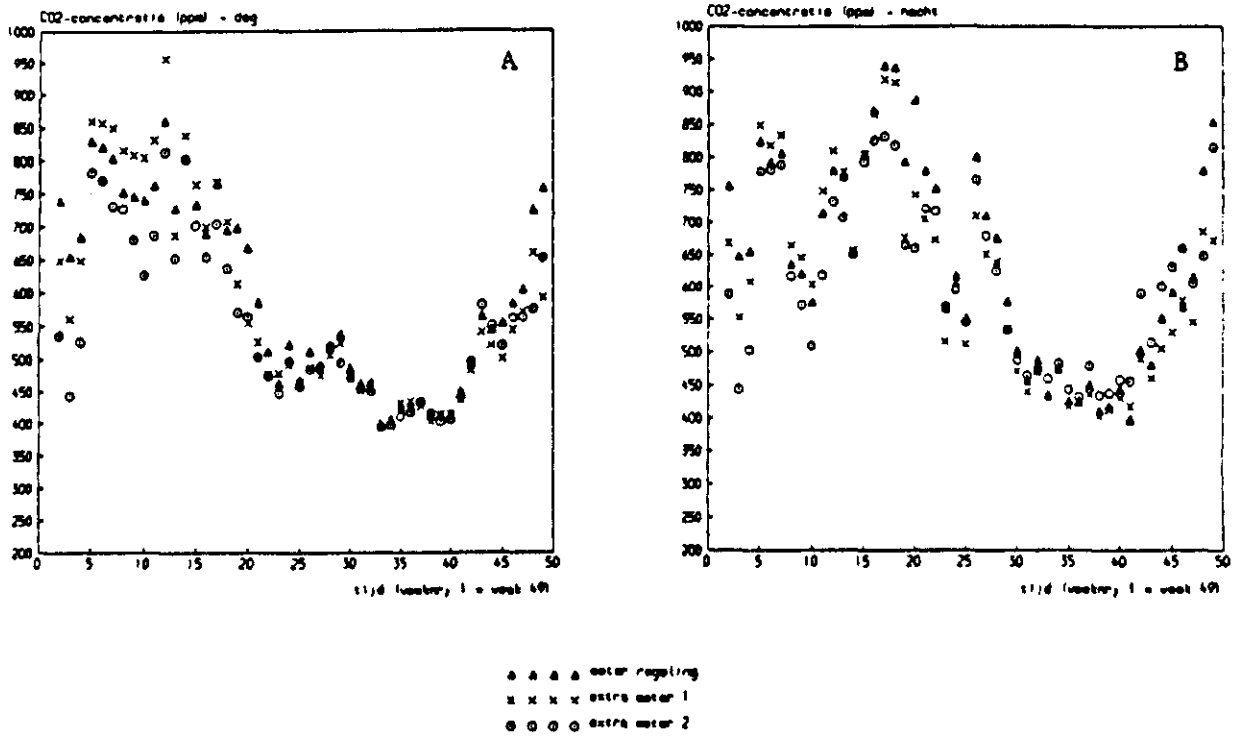
Figuur IV.2.5. Dampdruk kaslucht gemeten door meetbox 2 op bedrijf 3 in 1990. Minimum en maximum zijn gemiddelde uurwaarden.



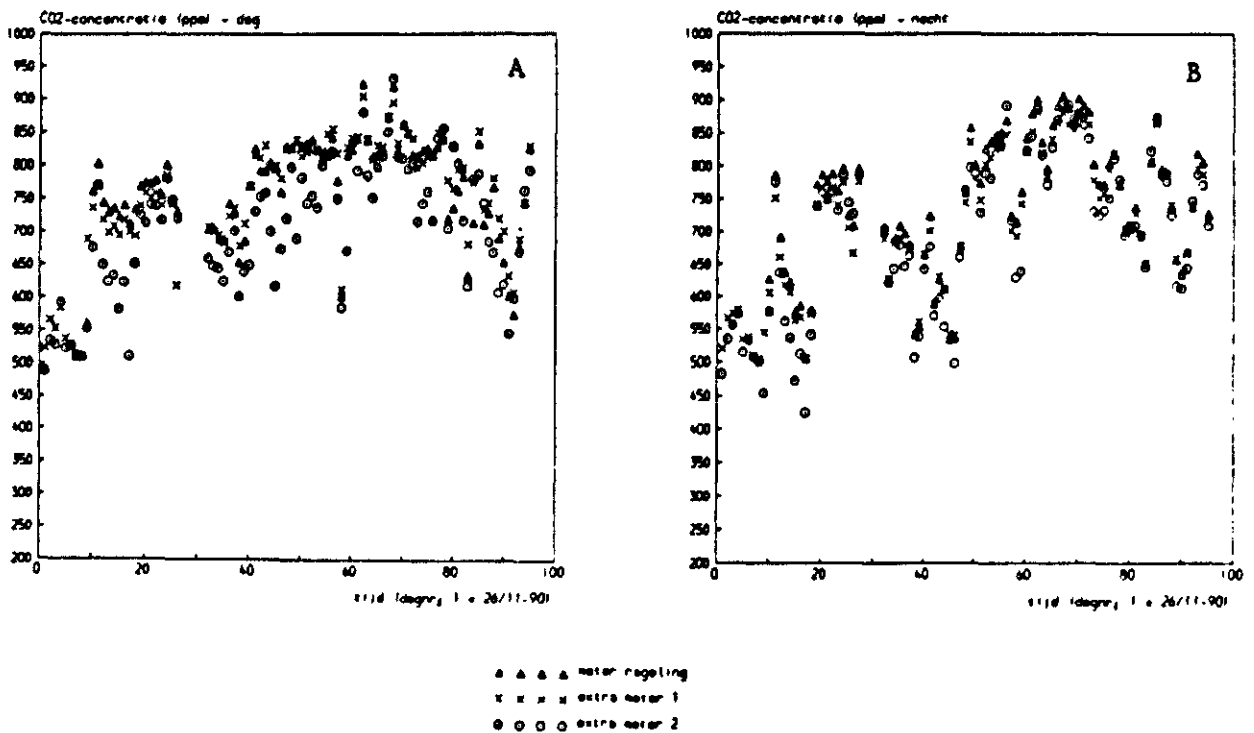
Figuur IV.2.6. Verschil in dampdruk kaslucht tussen diverse meetboxen met als referentie meetbox 2 op bedrijf 3 in 1990 (A = meetbox van regeling; B = meetbox 1; C = meetbox 3).

BIJLAGE IV.3. CO₂-VERDELING

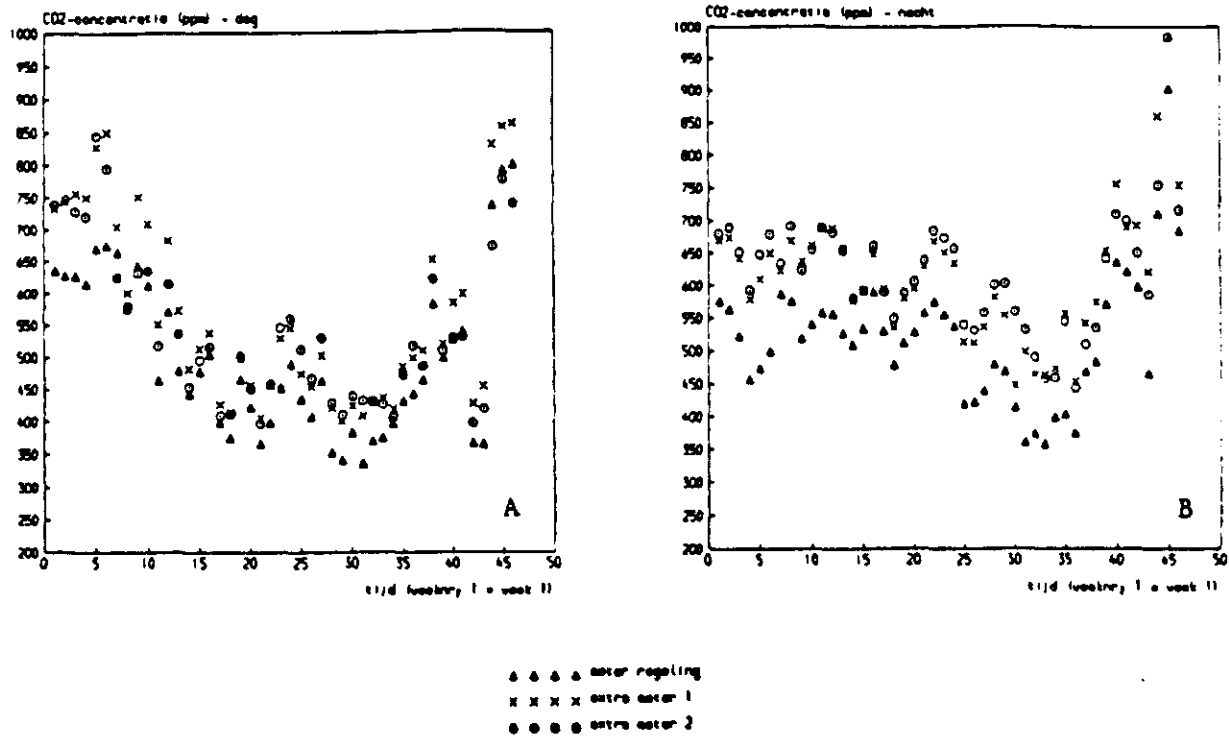
Figuren van paragraaf 4.4.1



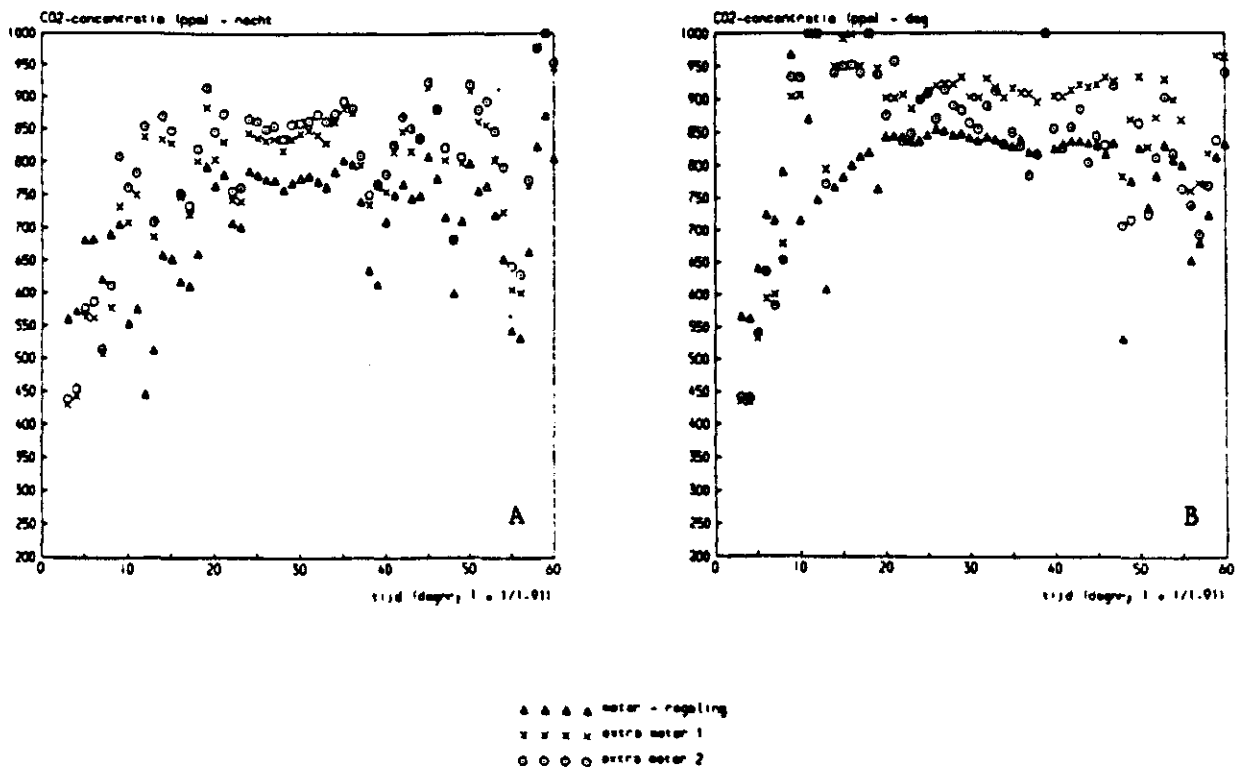
Figuur IV.3.1. CO₂-concentratie gemeten met CO₂-meter van regeling en 2 extra CO₂-meters op bedrijf 1 tijdens teeltseizoenen 1989 - 1990 gemiddeld per week (A = overdag; B = 's nachts)



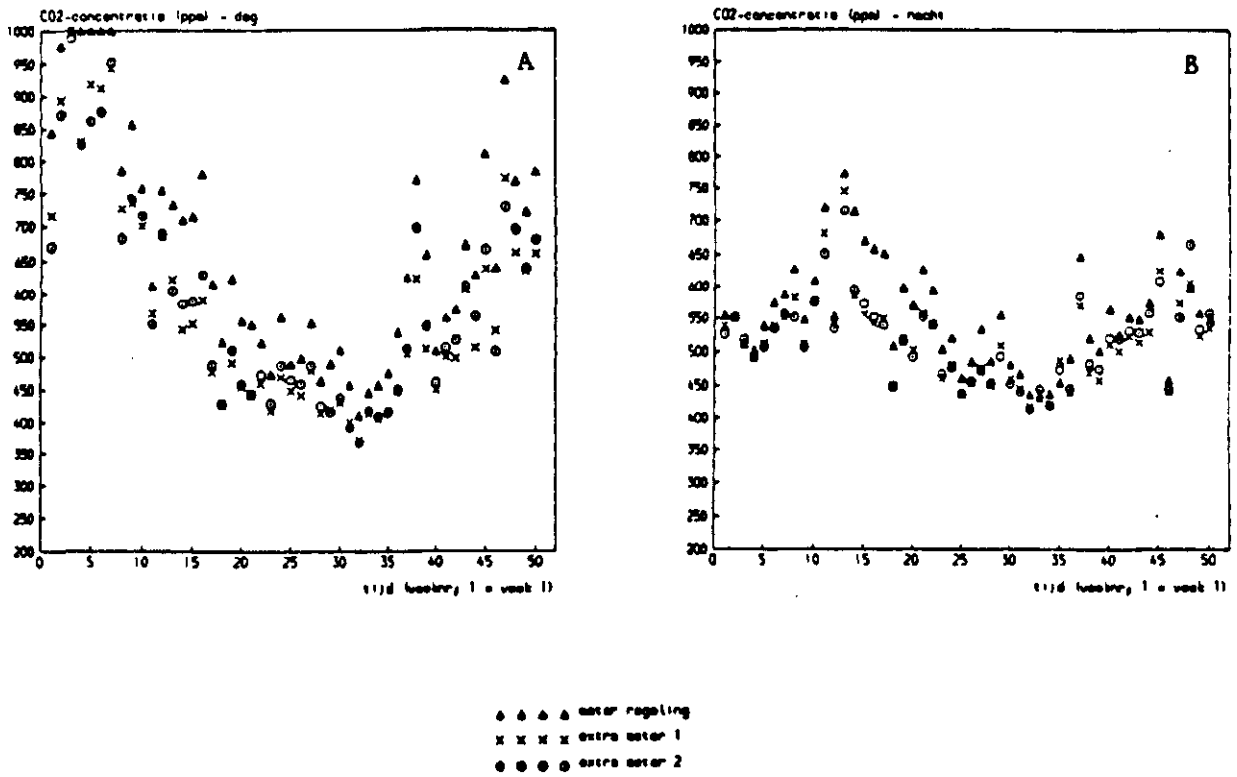
Figuur IV.3.2. CO₂-concentratie gemeten met CO₂-meter van regeling en 2 extra CO₂-meters op bedrijf 1 tijdens teeltseizoenen 1990 - 1991 gemiddeld per etmaal (A = overdag; B = 's nachts)



Figuur IV.3.3. CO₂-concentratie gemeten met CO₂-meter van regeling en 2 extra CO₂-meters op bedrijf 2 tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 gemiddeld per week (A = overdag; B = 's nachts)



Figuur IV.3.4. CO₂-concentratie gemeten met CO₂-meter van regeling en 2 extra CO₂-meters op bedrijf 2 tijdens teeltseizoen 1990 - 1991 gemiddeld per etmaal (A = overdag; B = 's nachts)

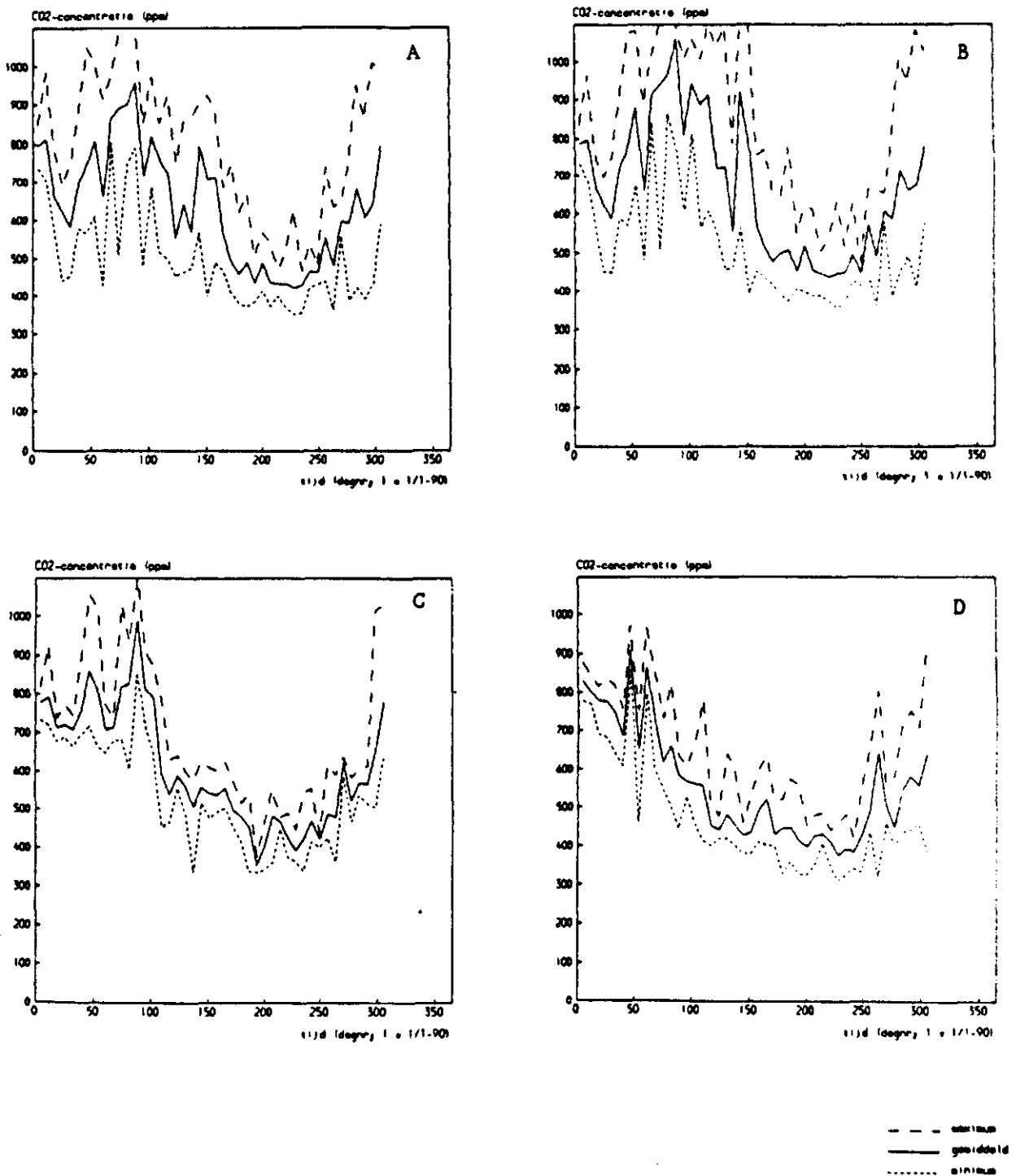


Figuur IV.3.5. CO2-concentratie gemeten met CO2-meter van regeling en 2 extra CO2-meters op bedrijf 3 tijdens teeltseizoenen 1989 - 1990 gemiddeld per week (A = overdag; B = 's nachts)

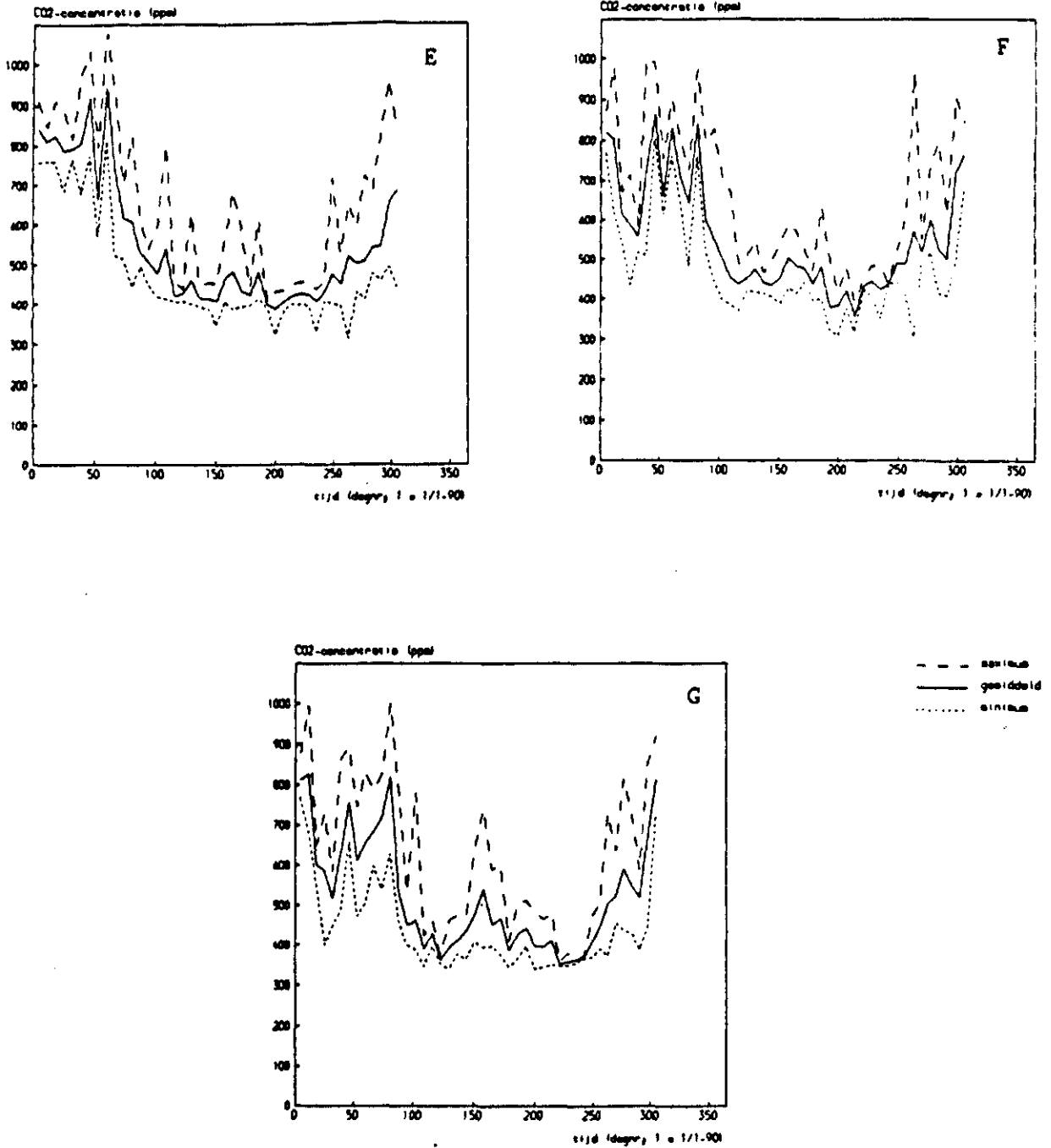
BIJLAGE IV.4. JAARVERLOOP CO₂-CONCENTRATIE

Figuren van paragraaf 4.4.2

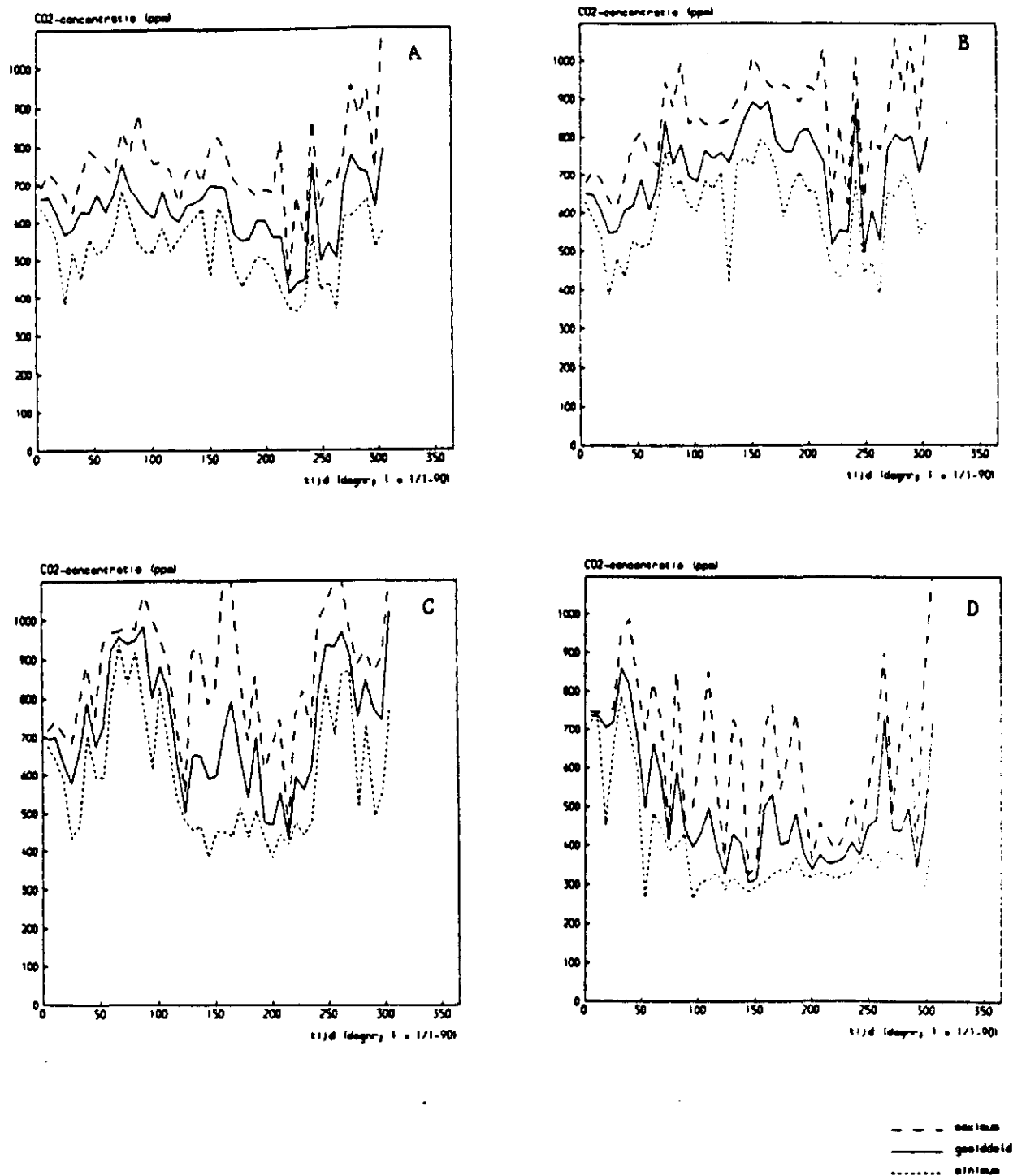
De CO₂-concentratie is het gemiddelde van de 2 extra CO₂-meters. De weergegeven gemiddelden, minimum- en maximumwaarden zijn weekgemiddelden.



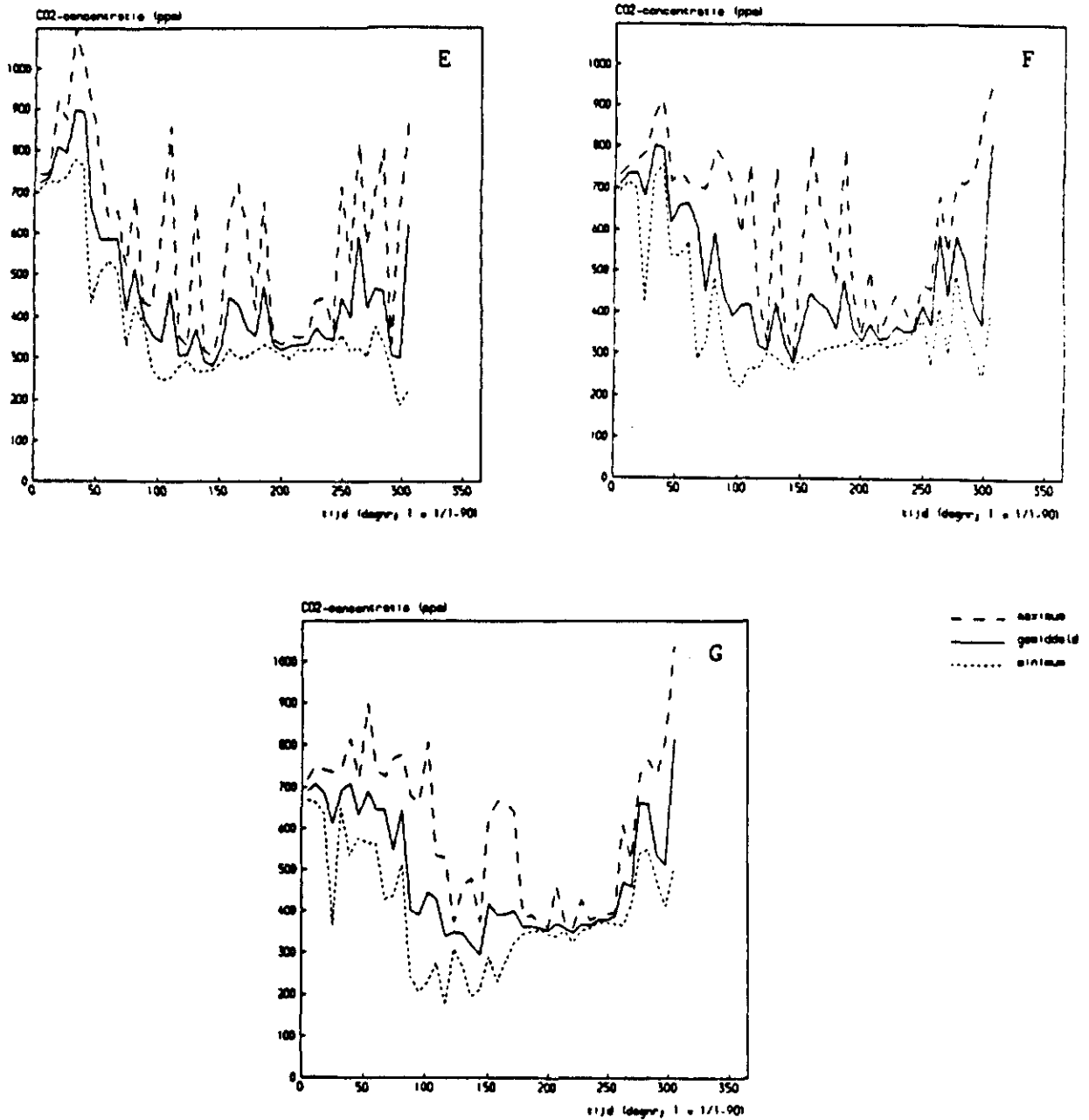
Figuur IV.4.1. CO₂-concentratie op bedrijf 1 tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (A = 3 uur; B = 6 uur; C = 9 uur; D = 12 uur).



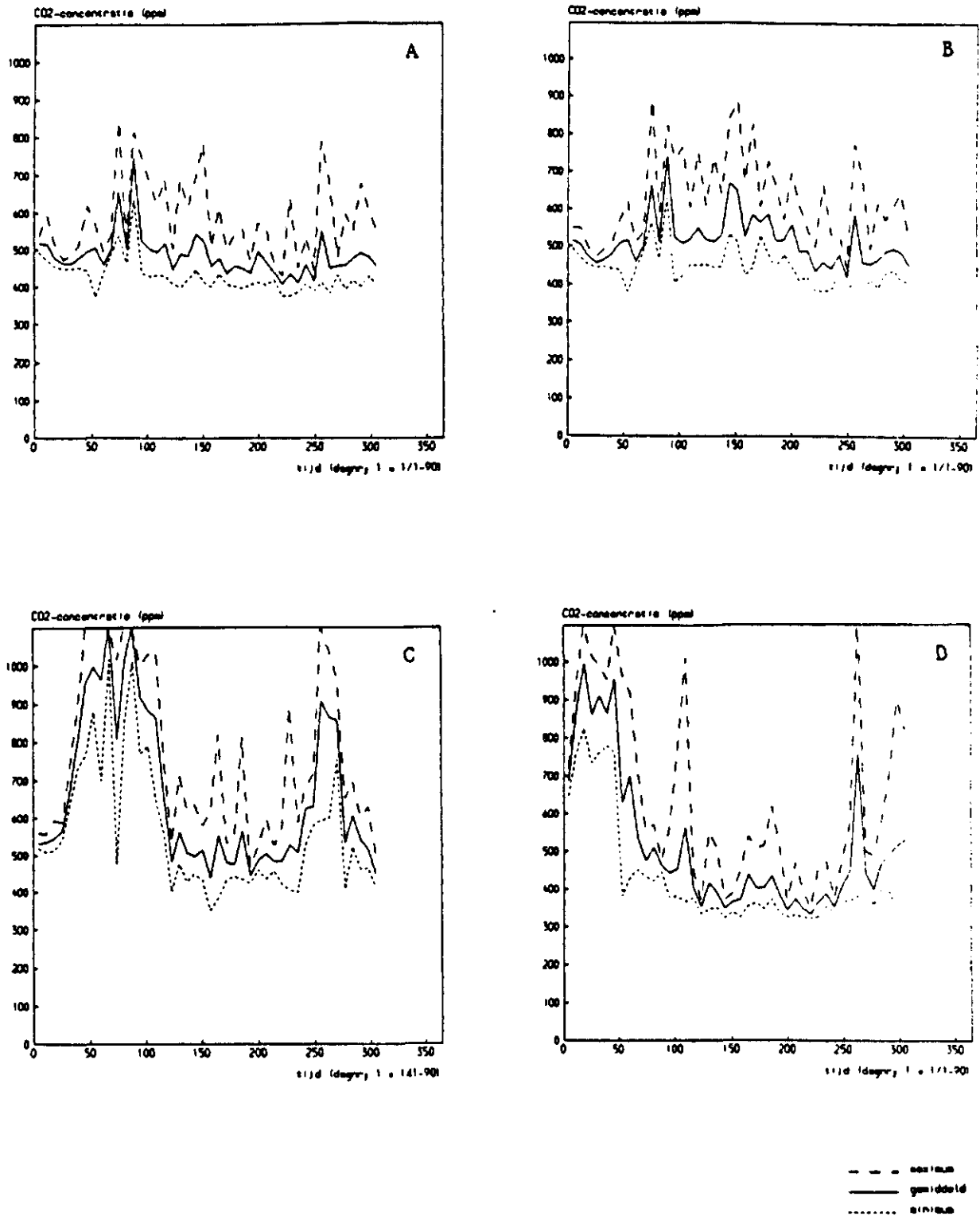
Figuur IV.4.1 (vervolg). CO2-concentratie op bedrijf 1 tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (E = 15 uur; F = 18 uur; G = 21 uur).



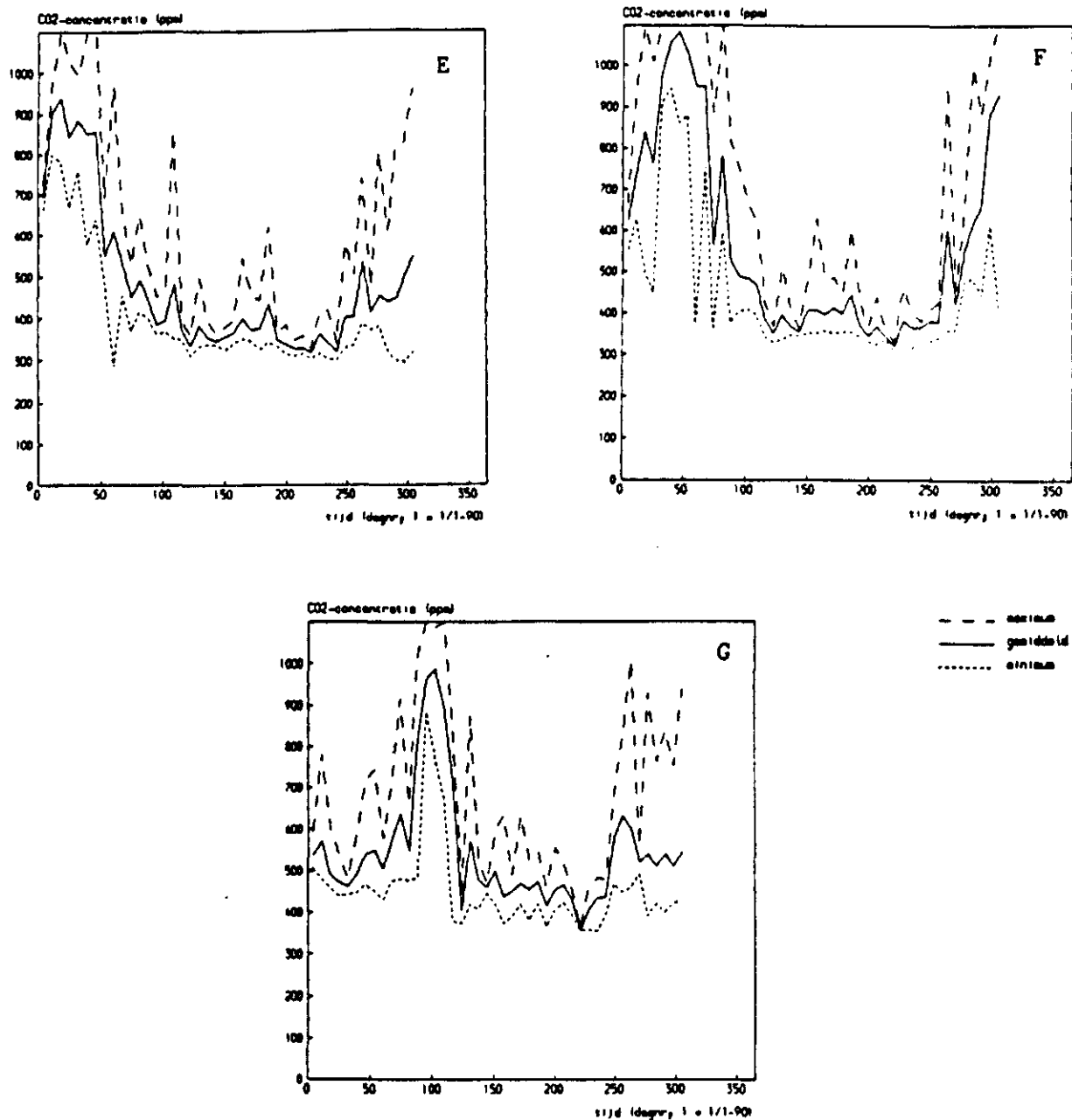
Figuur IV.4.2. CO₂-concentratie op bedrijf 2 tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (A = 3 uur; B = 6 uur; C = 9 uur; D = 12 uur).



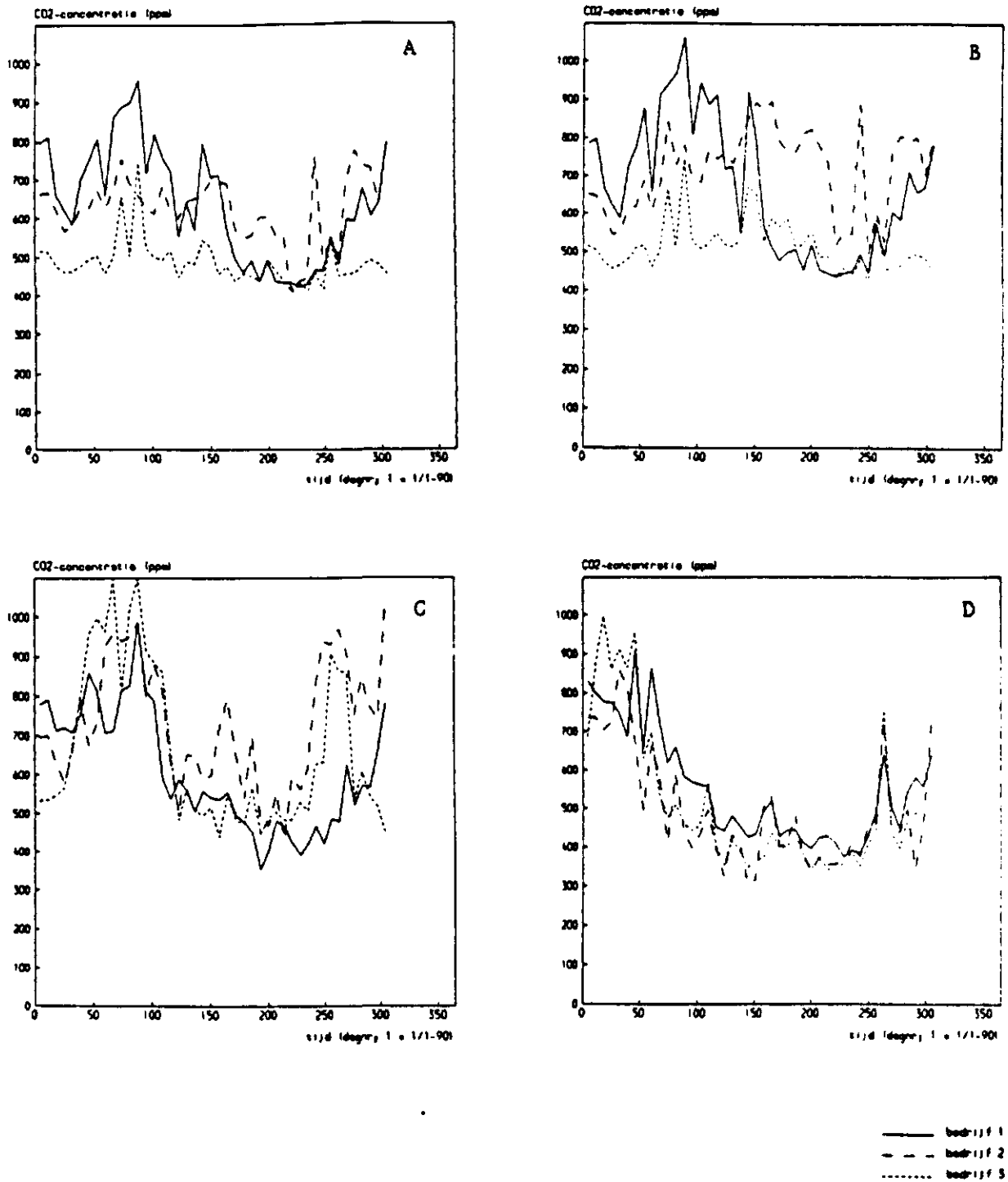
Figuur IV.4.2 (vervolg). CO₂-concentratie op bedrijf 2 tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (E = 15 uur; F = 18 uur; G = 21 uur).



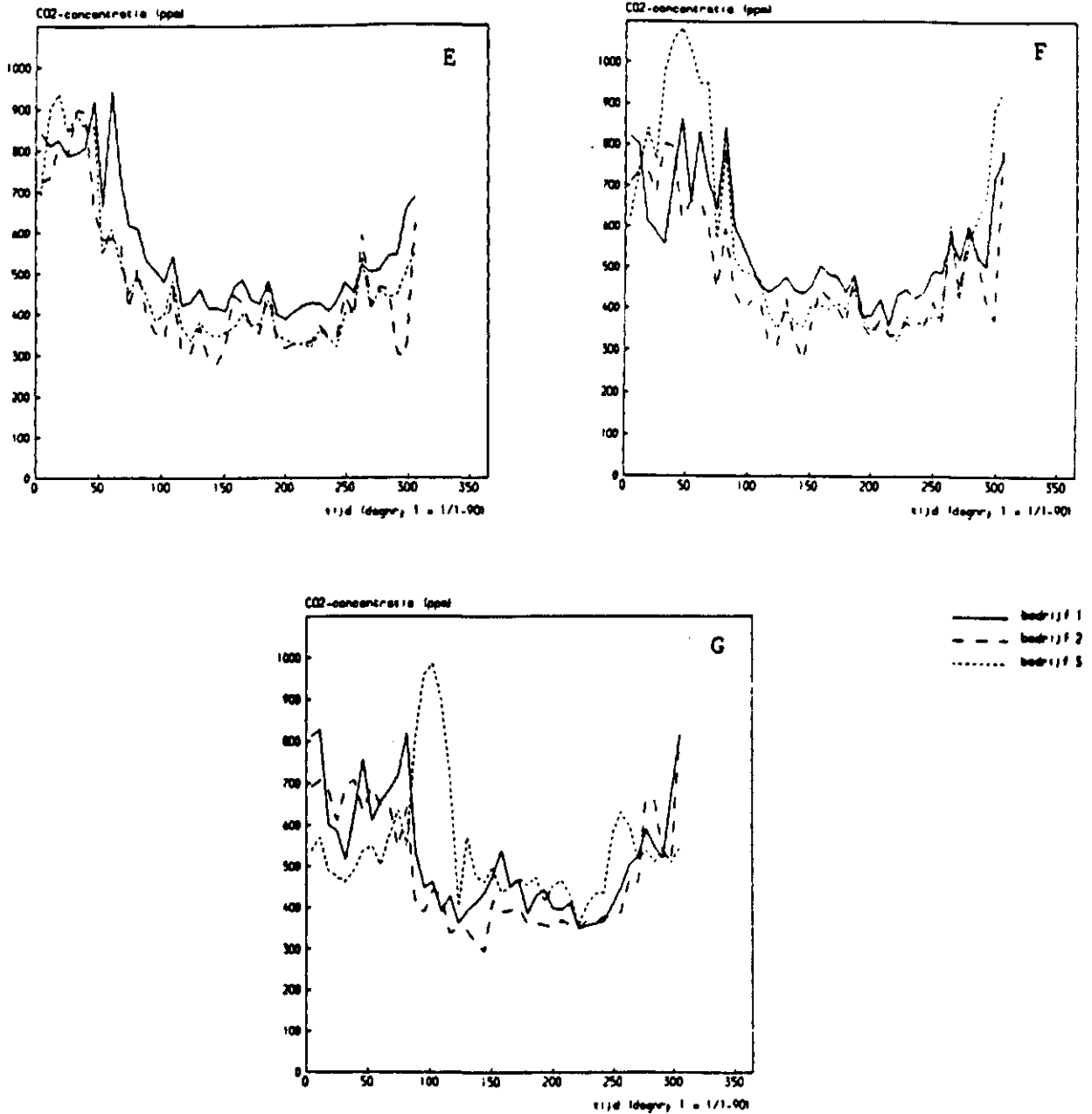
Figuur IV.4.3. CO₂-concentratie op bedrijf 3 tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (A = 3 uur; B = 6 uur; C = 9 uur; D = 12 uur).



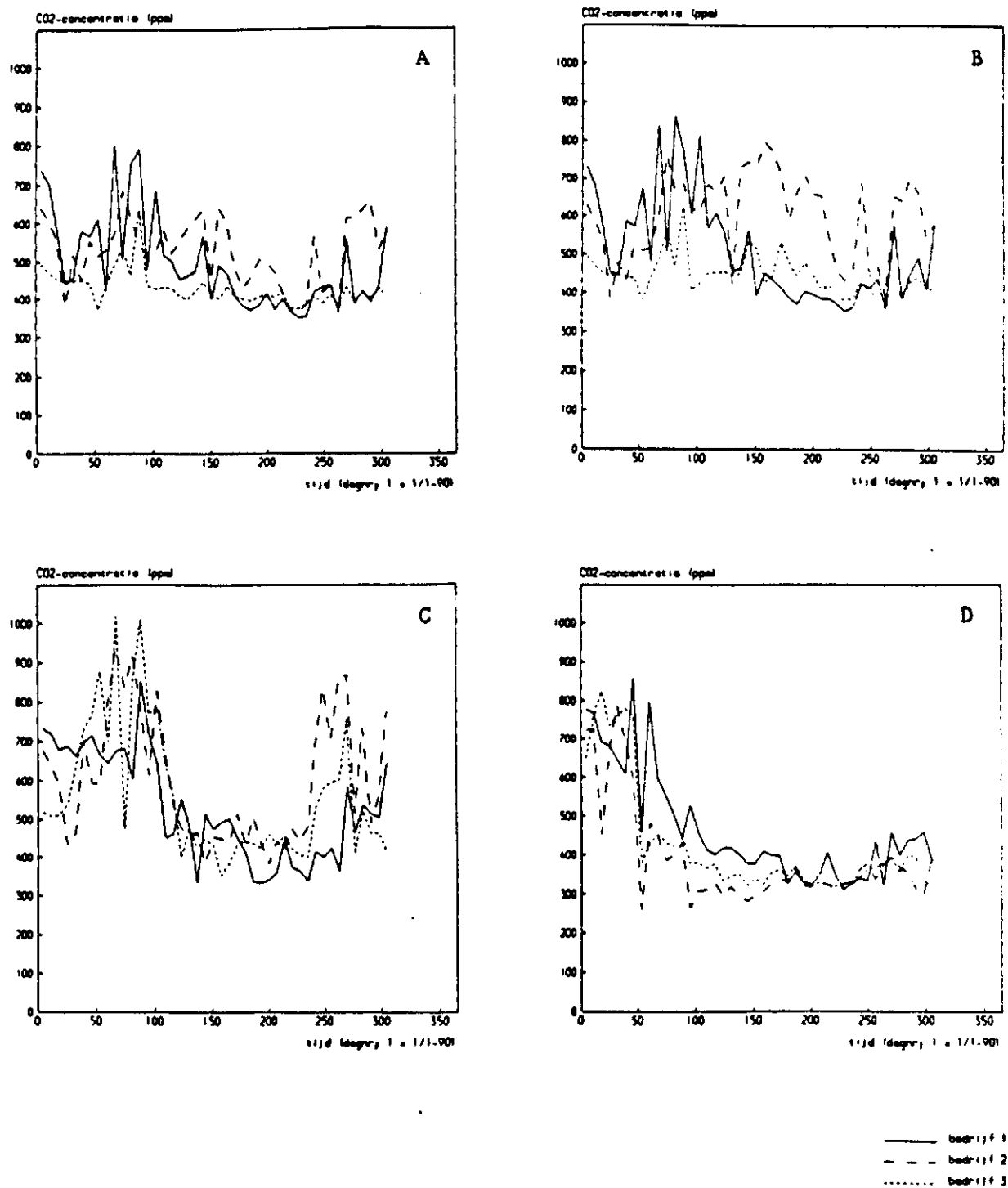
Figuur IV.4.3 (vervolg). CO₂-concentratie op bedrijf 3 tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (E = 15 uur; F = 18 uur; G = 21 uur).



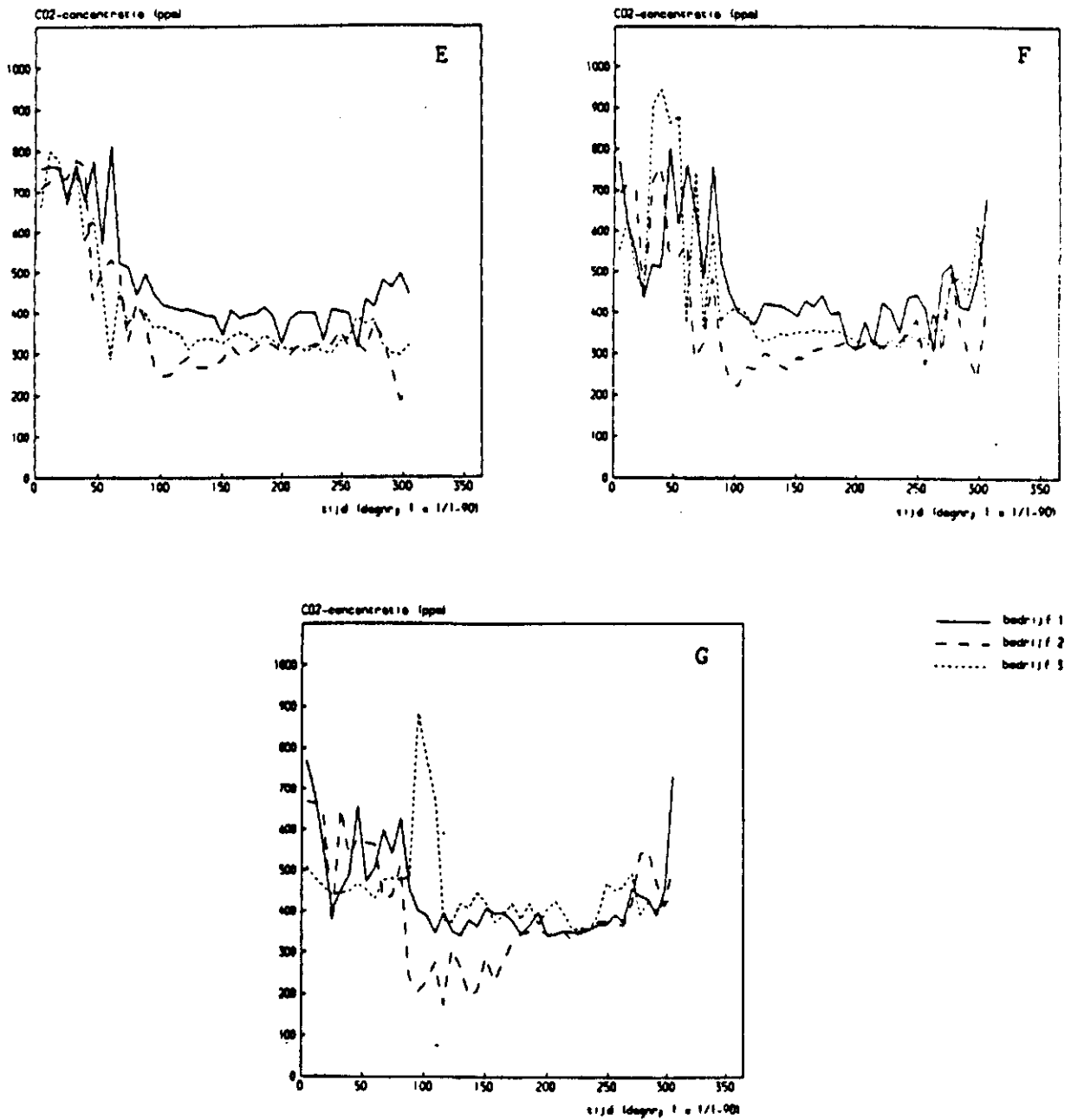
Figuur IV.4.4. Gemiddelde CO₂-concentratie op de 3 meetbedrijven tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (A = 3 uur; B = 6 uur; C = 9 uur; D = 12 uur).



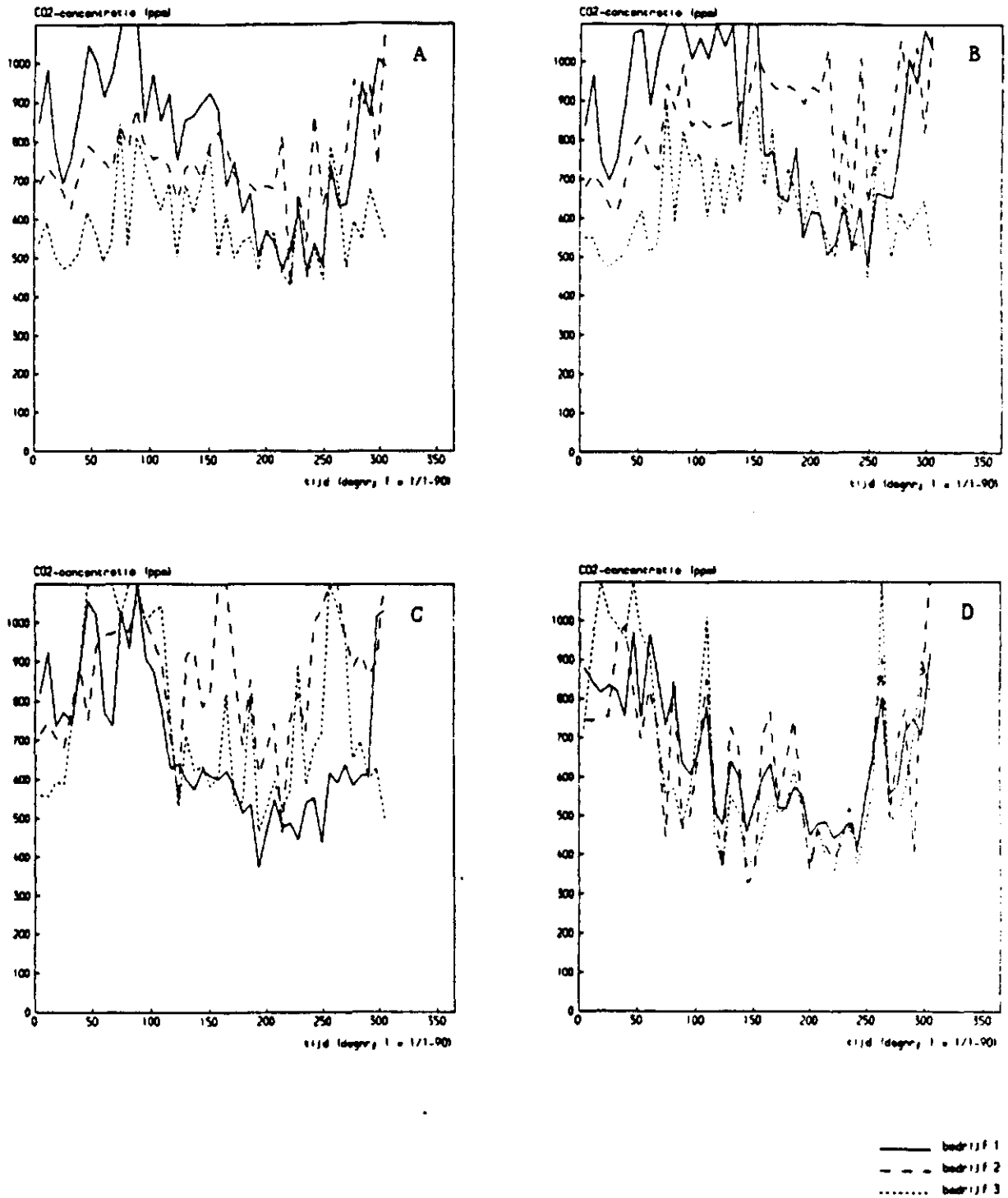
Figuur IV.4.4 (vervolg). Gemiddelde CO₂-concentratie op de 3 meetbedrijven tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (E = 15 uur; F = 18 uur; G = 21 uur).



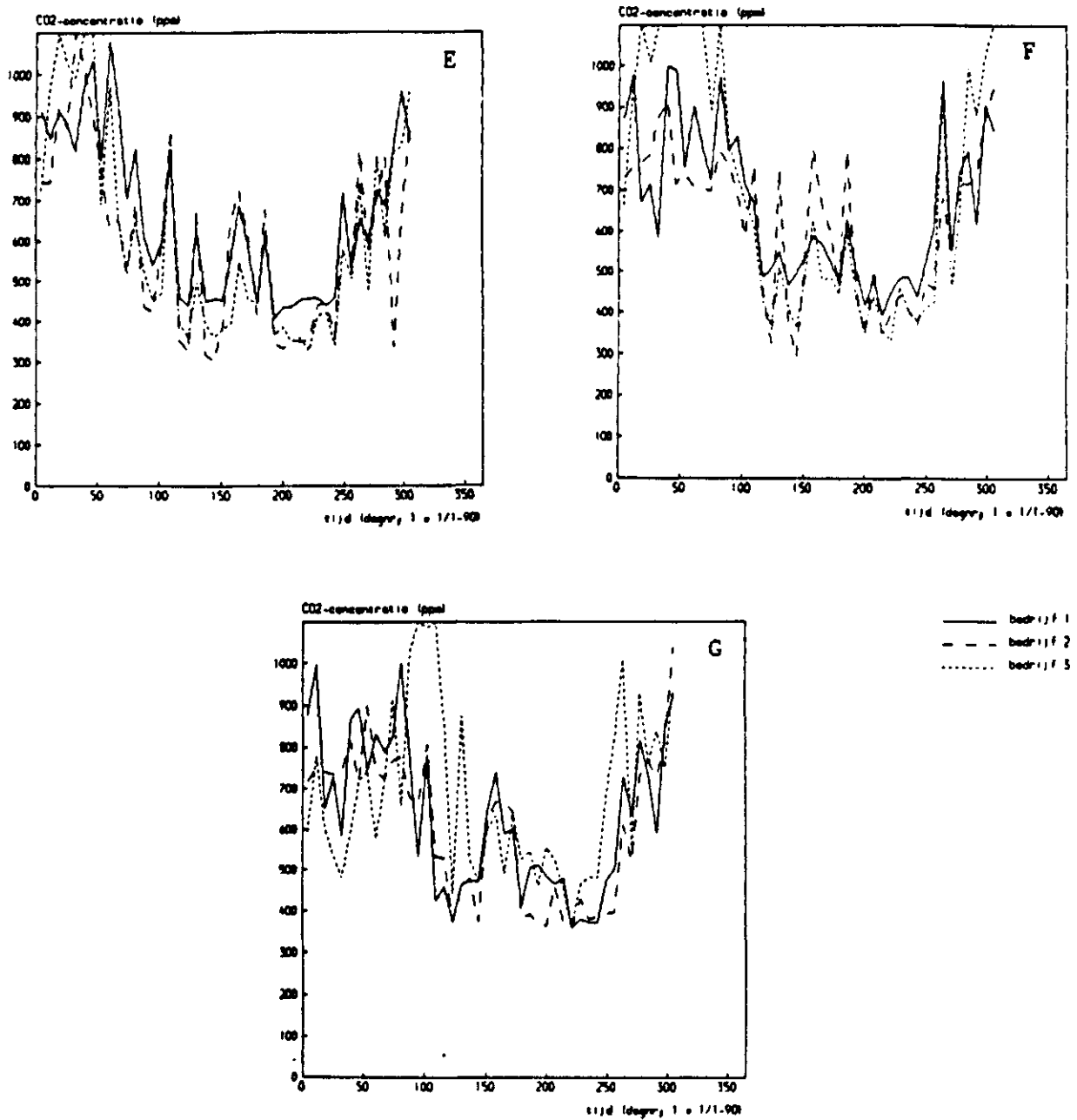
Figuur IV.4.5. Minimum CO2-concentratie op de 3 meetbedrijven tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (A = 3 uur; B = 6 uur; C = 9 uur; D = 12 uur).



Figuur IV.4.5 (vervolg). Minimum CO₂-concentratie op de 3 meetbedrijven tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (E = 15 uur; F = 18 uur; G = 21 uur).



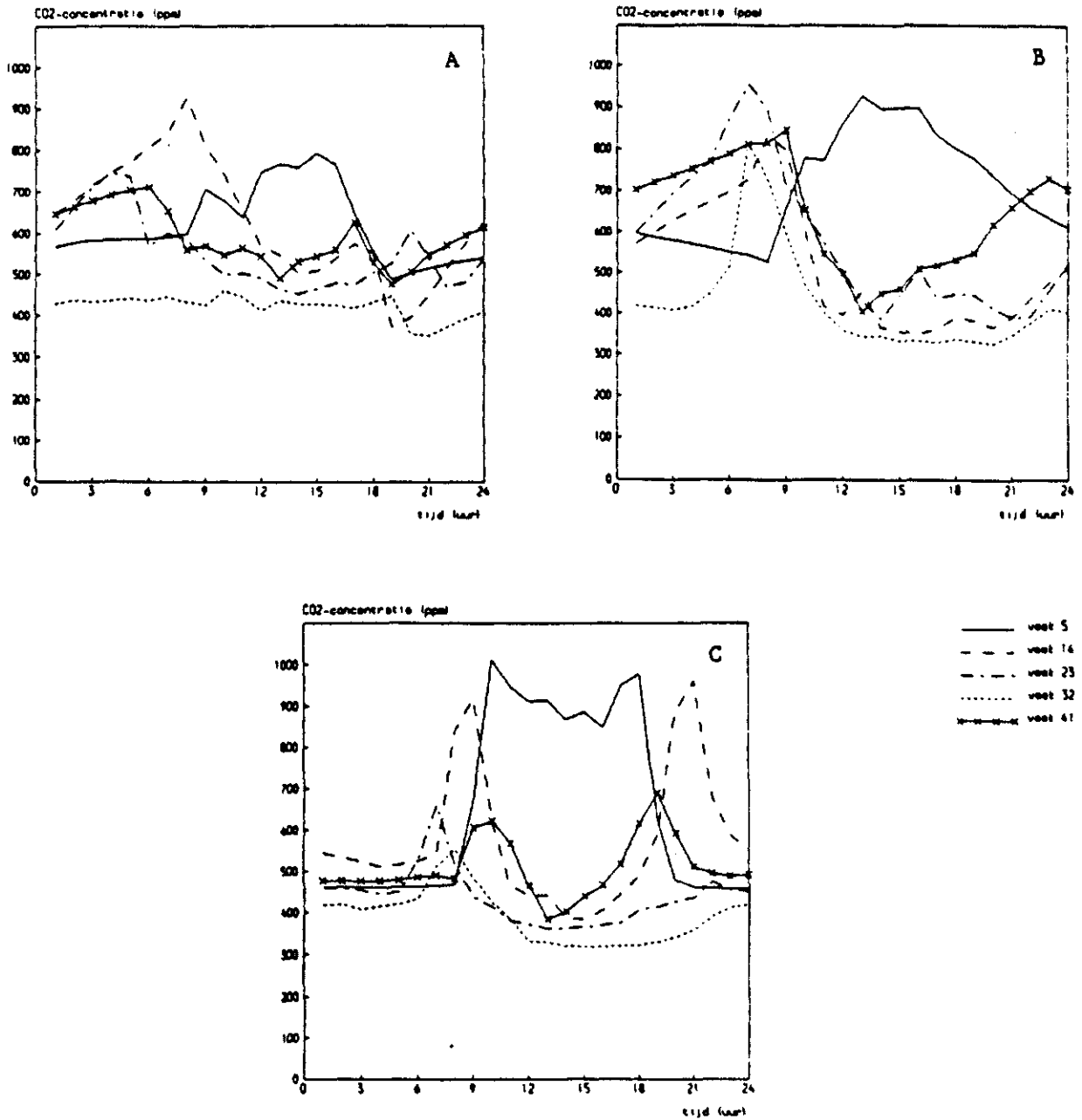
Figuur IV.4.6. Maximum CO₂-concentratie op de 3 meetbedrijven tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (A = 3 uur; B = 6 uur; C = 9 uur; D = 12 uur).



Figuur IV.4.6 (vervolg). Maximum CO₂-concentratie op de 3 meetbedrijven tijdens teeltseizoen 1989 - 1990 op diverse tijdstippen op de dag (E = 15 uur; F = 18 uur; G = 21 uur).

BIJLAGE IV.5. DAGVERLOOP CO₂-CONCENTRATIE

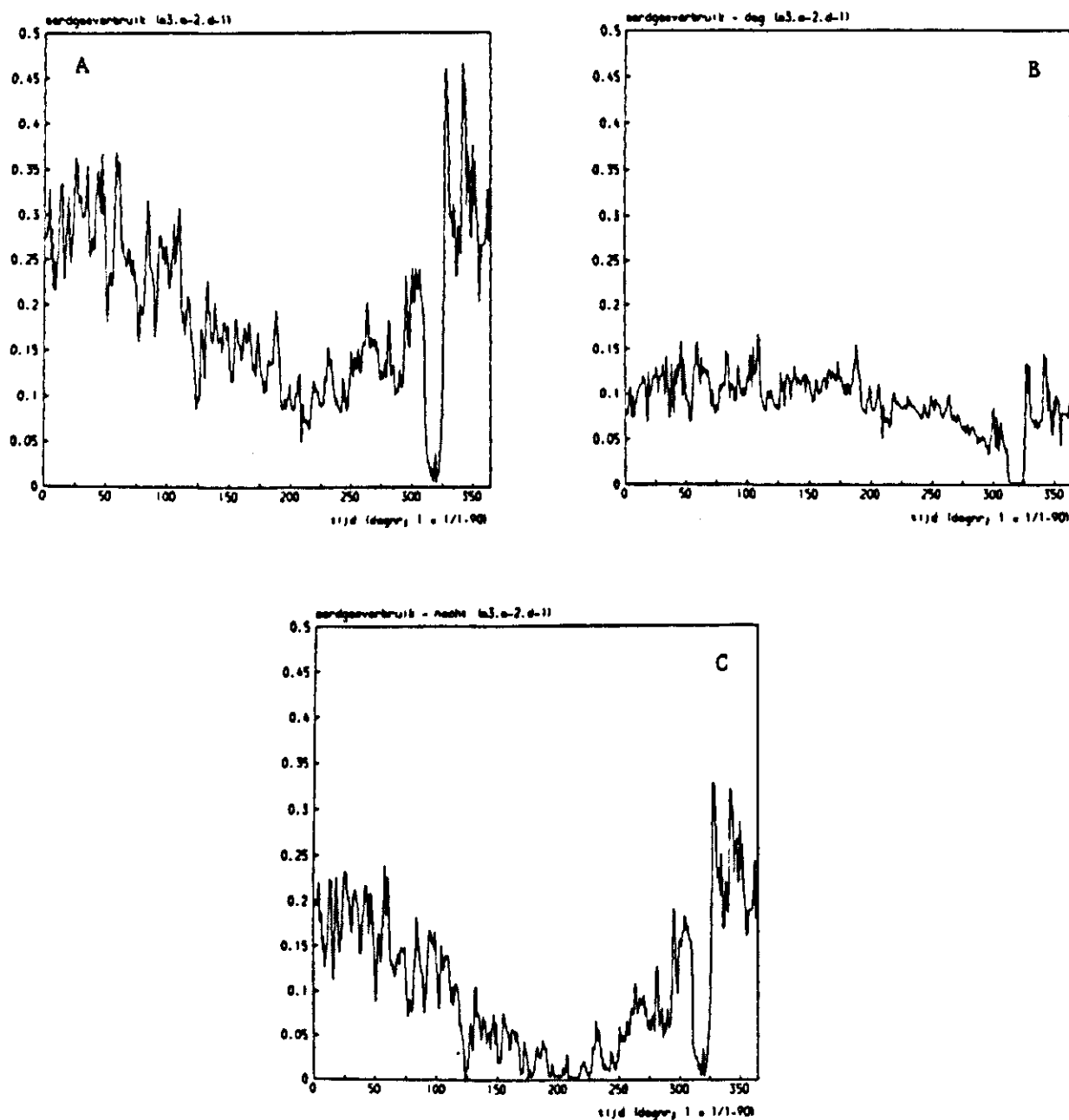
Figuren van paragraaf 4.4.3



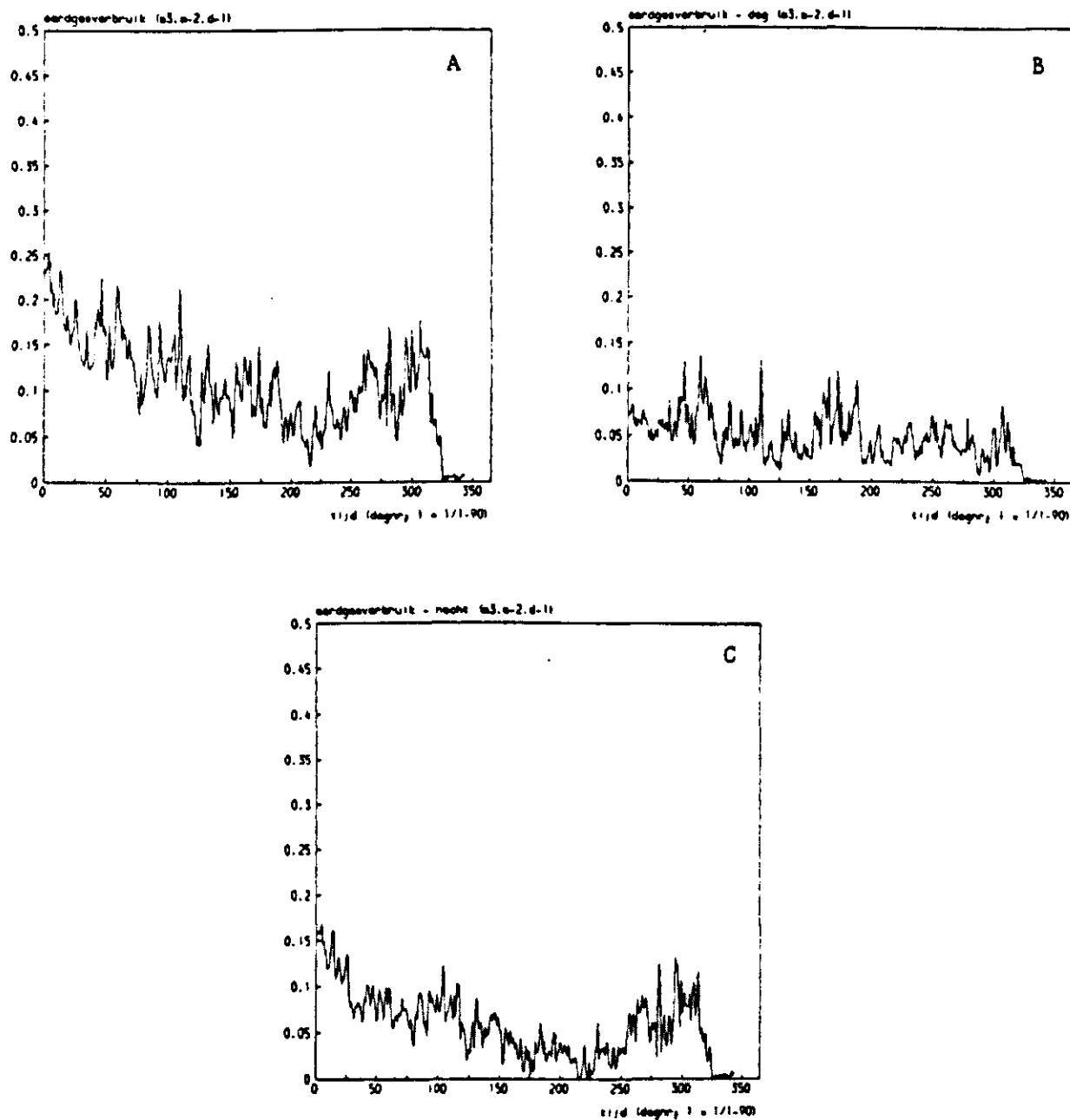
Figuur IV.5. Verloop over etmaal van CO₂-concentratie als gemiddelde van diverse weken van teeltseizoen 1989 - 1990 op de 3 meetbedrijven (A = bedrijf 1; B = bedrijf 2; C = bedrijf 3).

BIJLAGE IV.6. JAARVERLOOP AARDGASVERBRUIK

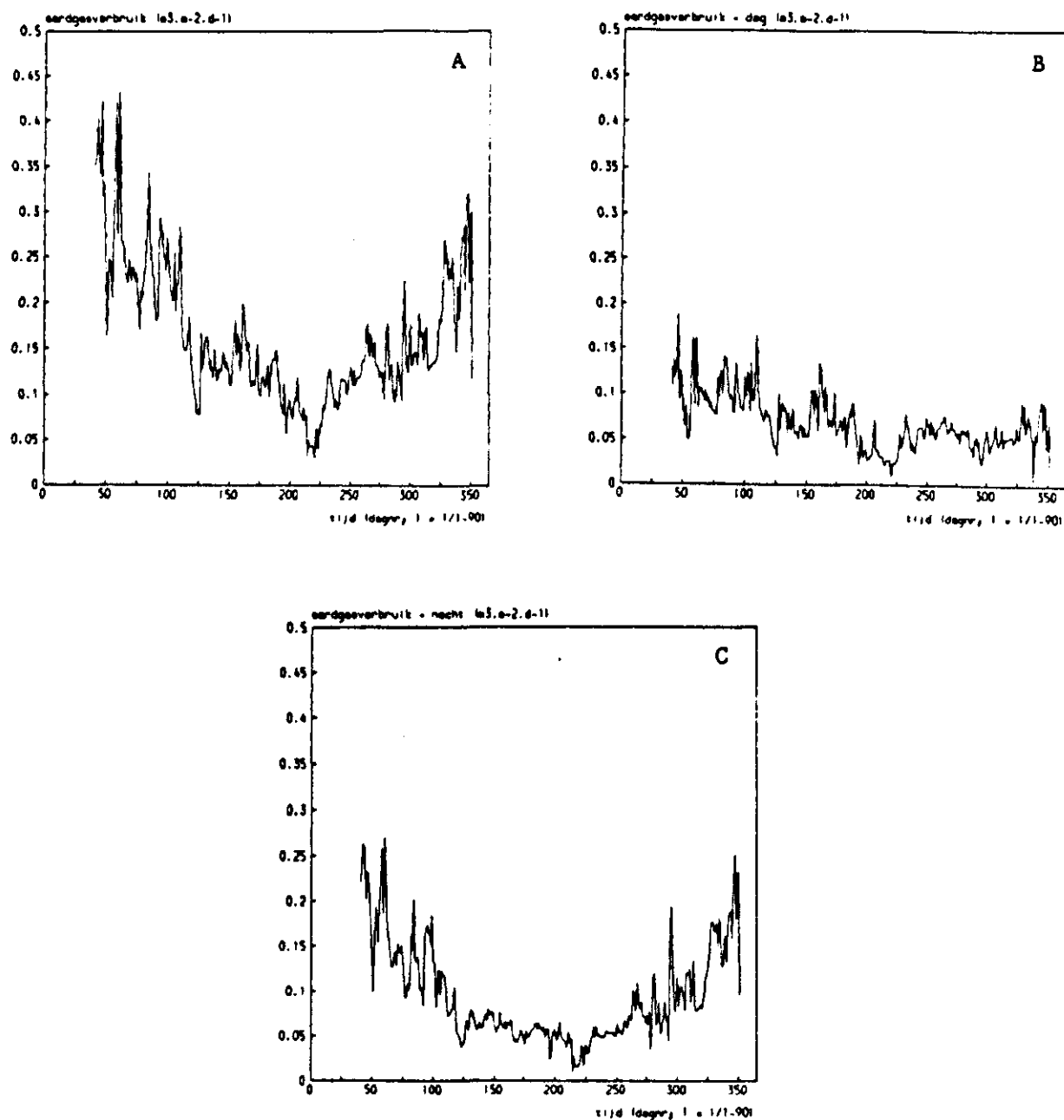
Figuren van paragraaf 4.5.1



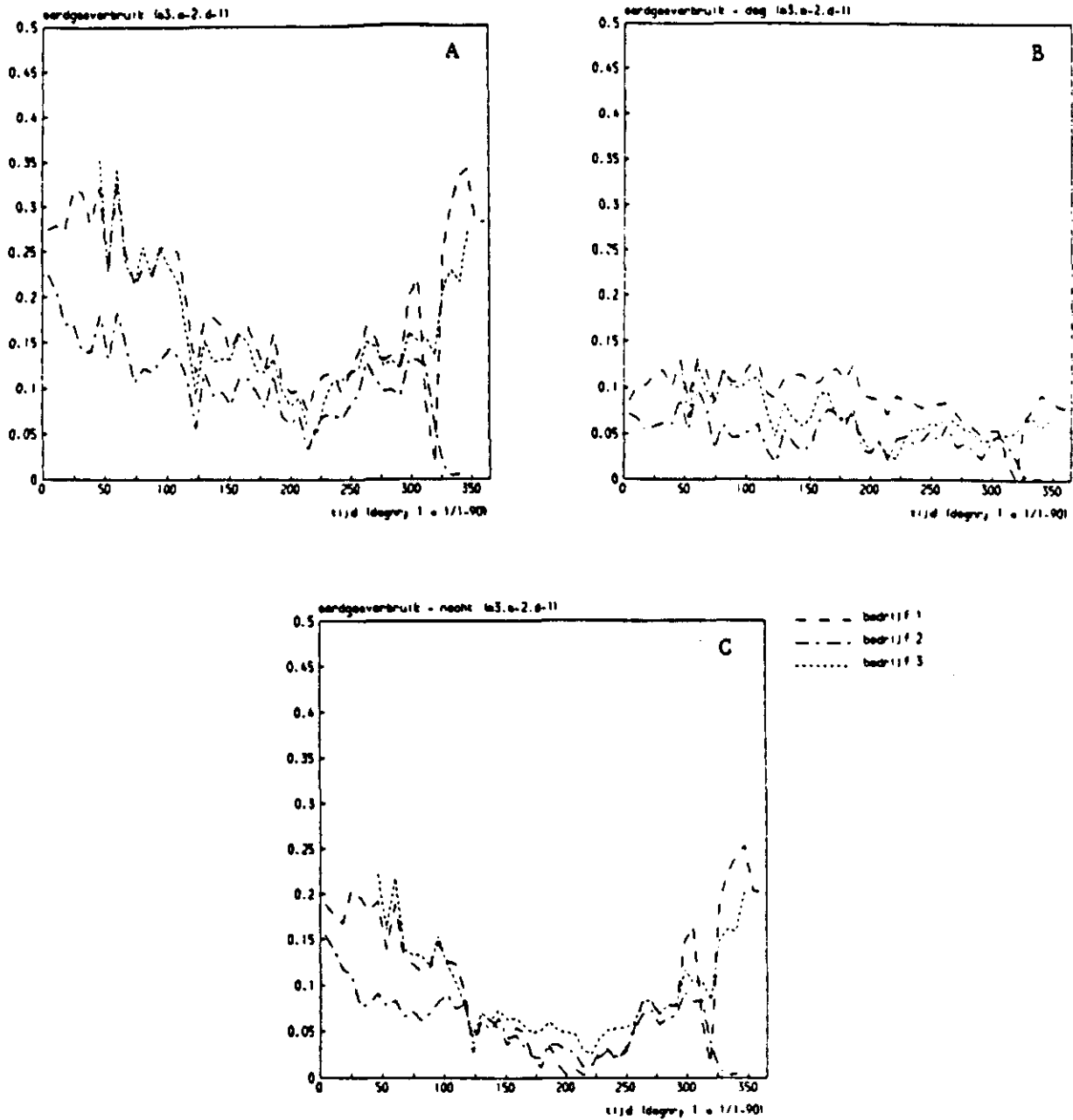
Figuur IV.6.1. Aardgasverbruik van bedrijf 1 (A - etmaal; B - overdag; C - 's nachts) in 1990 (verbruik op etmaalbasis).



Figuur IV.6.2. Aardgasverbruik van bedrijf 2 (A = etmaal; B = overdag; C = 's nachts) in 1990 (verbruik op etmaalbasis).



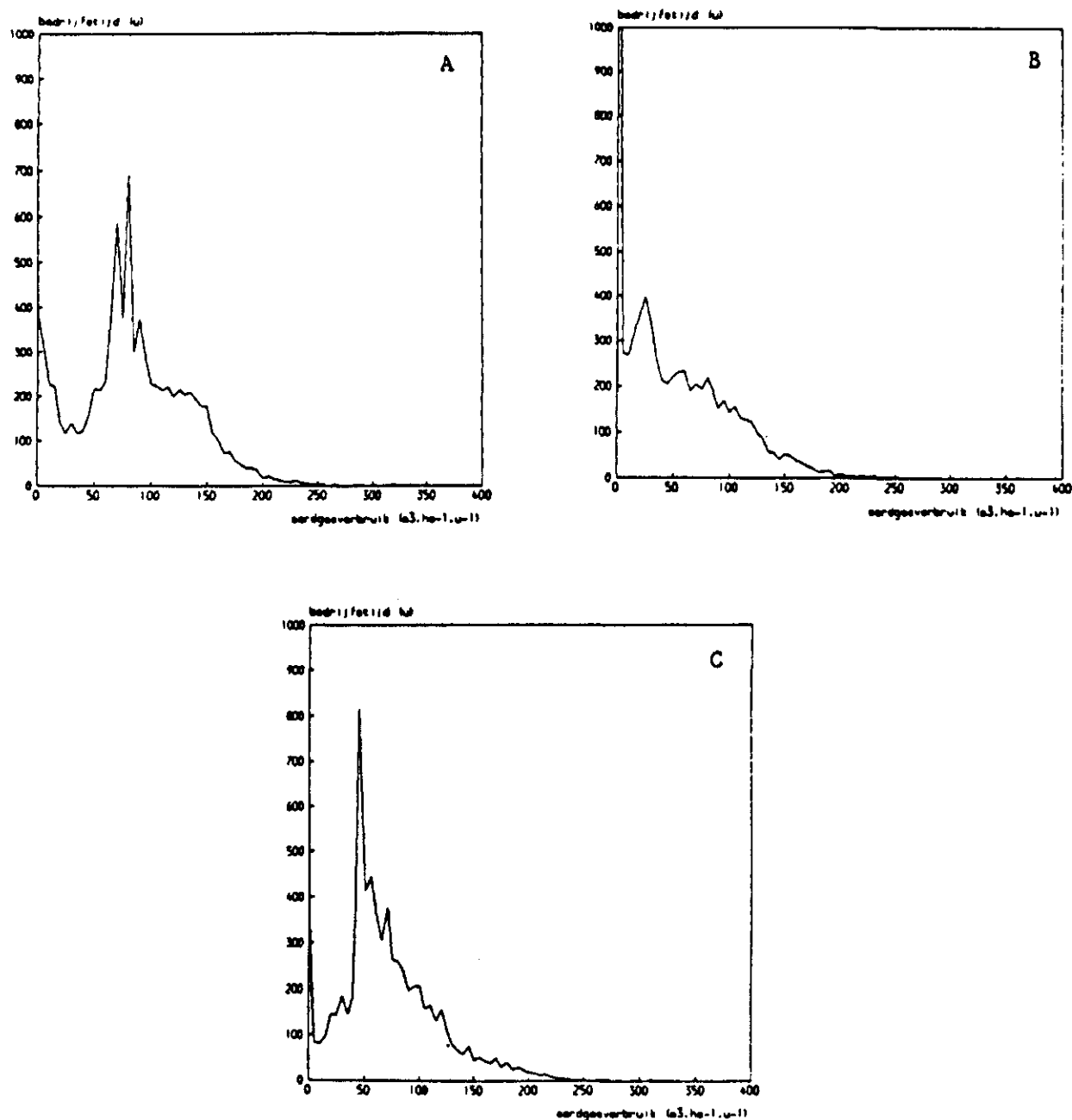
Figuur IV.6.3. Aardgasverbruik van bedrijf 3 (A = etmaal; B = overdag; C = 's nachts) in 1990 (verbruik op etmaalbasis).



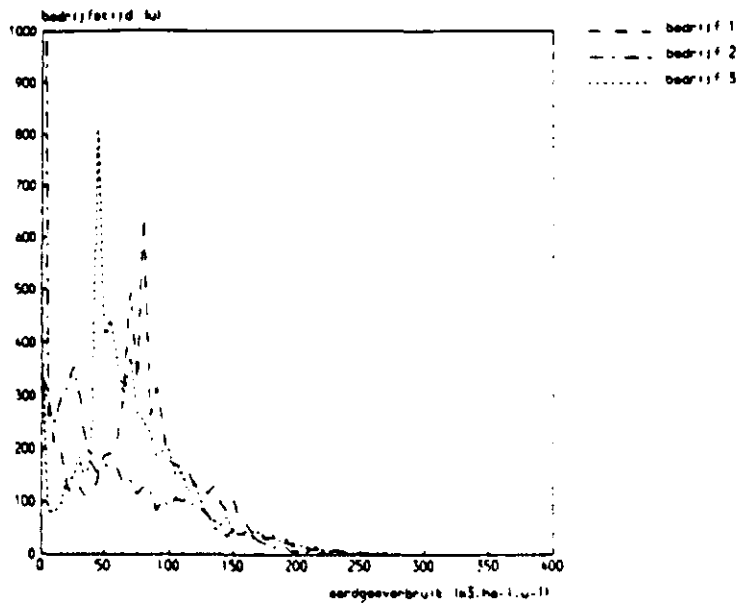
Figuur IV.6.4. Aardgasverbruik per etmaal van bedrijf 1, 2 en 3 in 1990
(A = etmaal; B = overdag; C = 's nachts) (verbruik gemiddeld over 7 dagen).

BIJLAGE IV.7. INTENSITEIT AARDGASVERBRUIK

Figuren van paragraaf 4.5.2



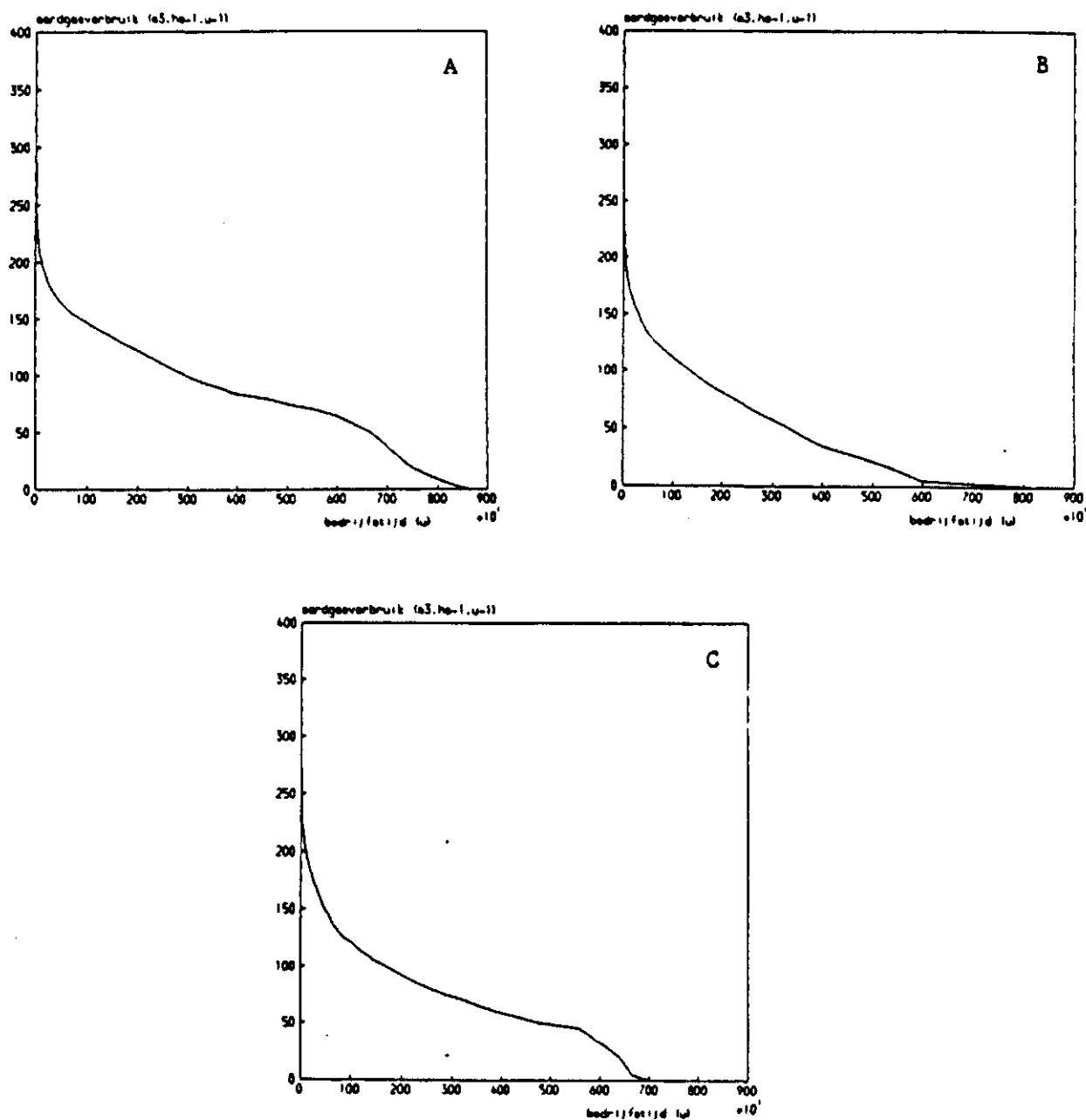
Figuur IV.7.1. Intensiteit van aardgasverbruik van meetbedrijven (A = bedrijf 1; B = bedrijf 2; C = bedrijf 3) van beschikbare data van 1990 (zie tekst).



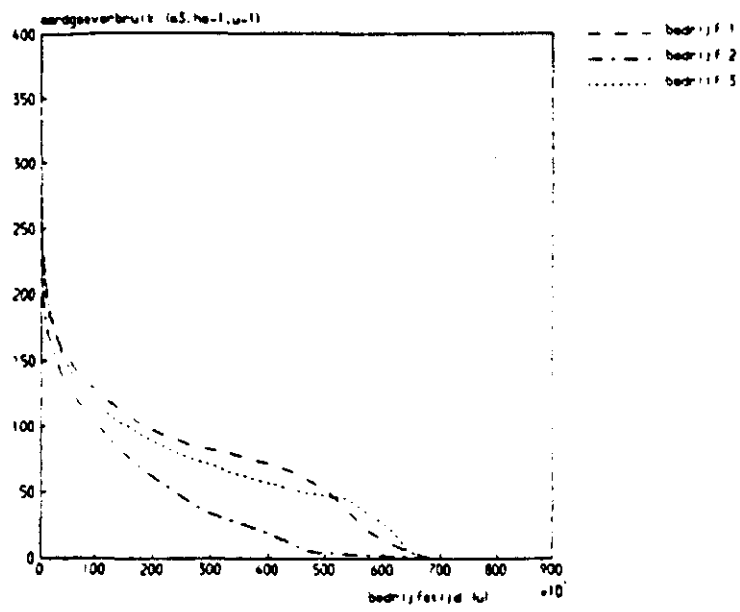
Figuur IV.7.2. Intensiteit van aardgasverbruik van bedrijf 1, 2 en 3 over dezelfde uren van 1990 (globaal van dag 41 t/m 343).

BIJLAGE IV.8. JAARBELASTINGDUURKROMME

Figuren van paragraaf 4.5.3



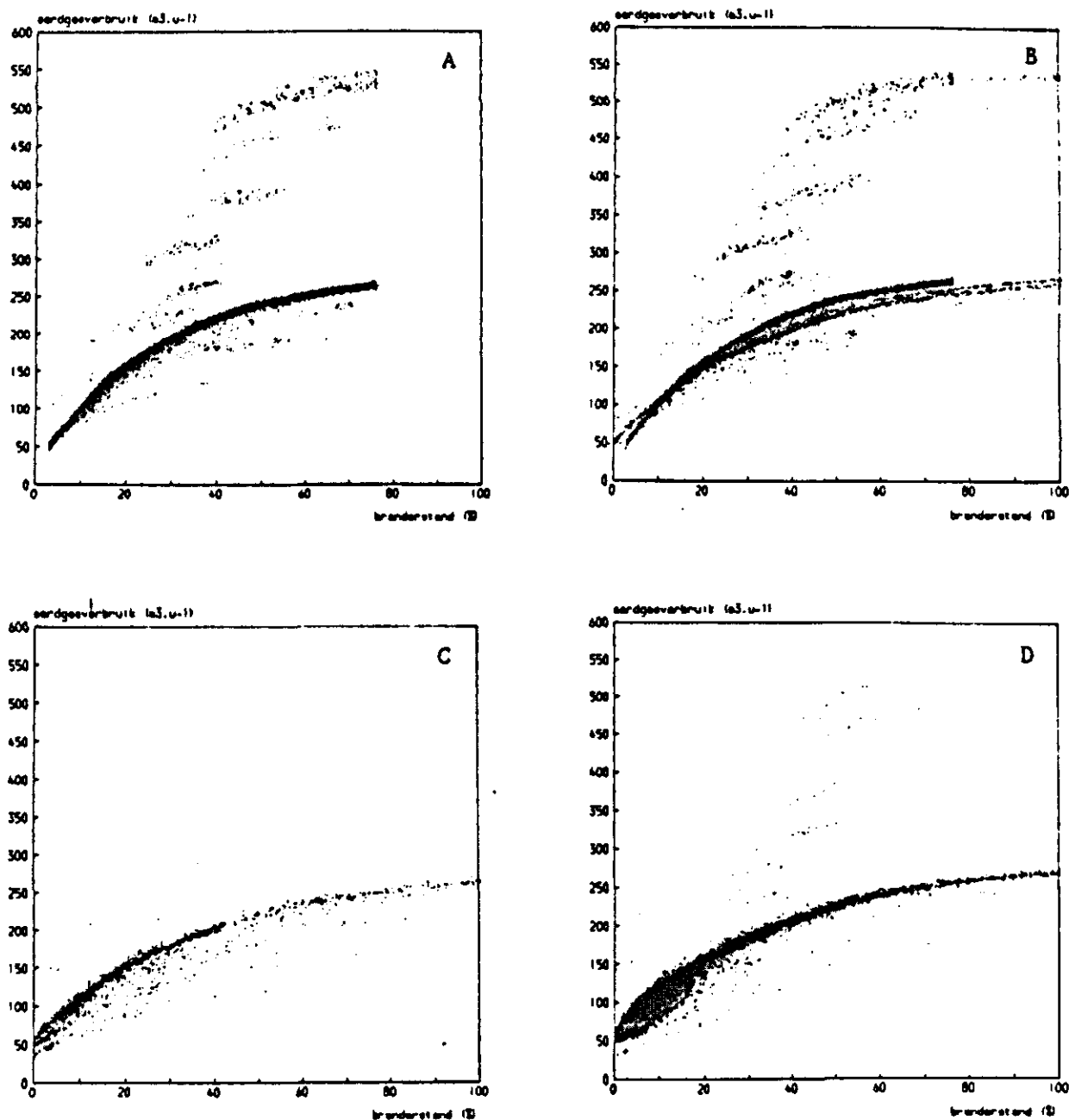
Figuur IV.8.1. Jaarbelastingduurkromme van meetbedrijven (A - bedrijf 1; B - bedrijf 2; C - bedrijf 3) van beschikbare data van 1990 (zie tekst).



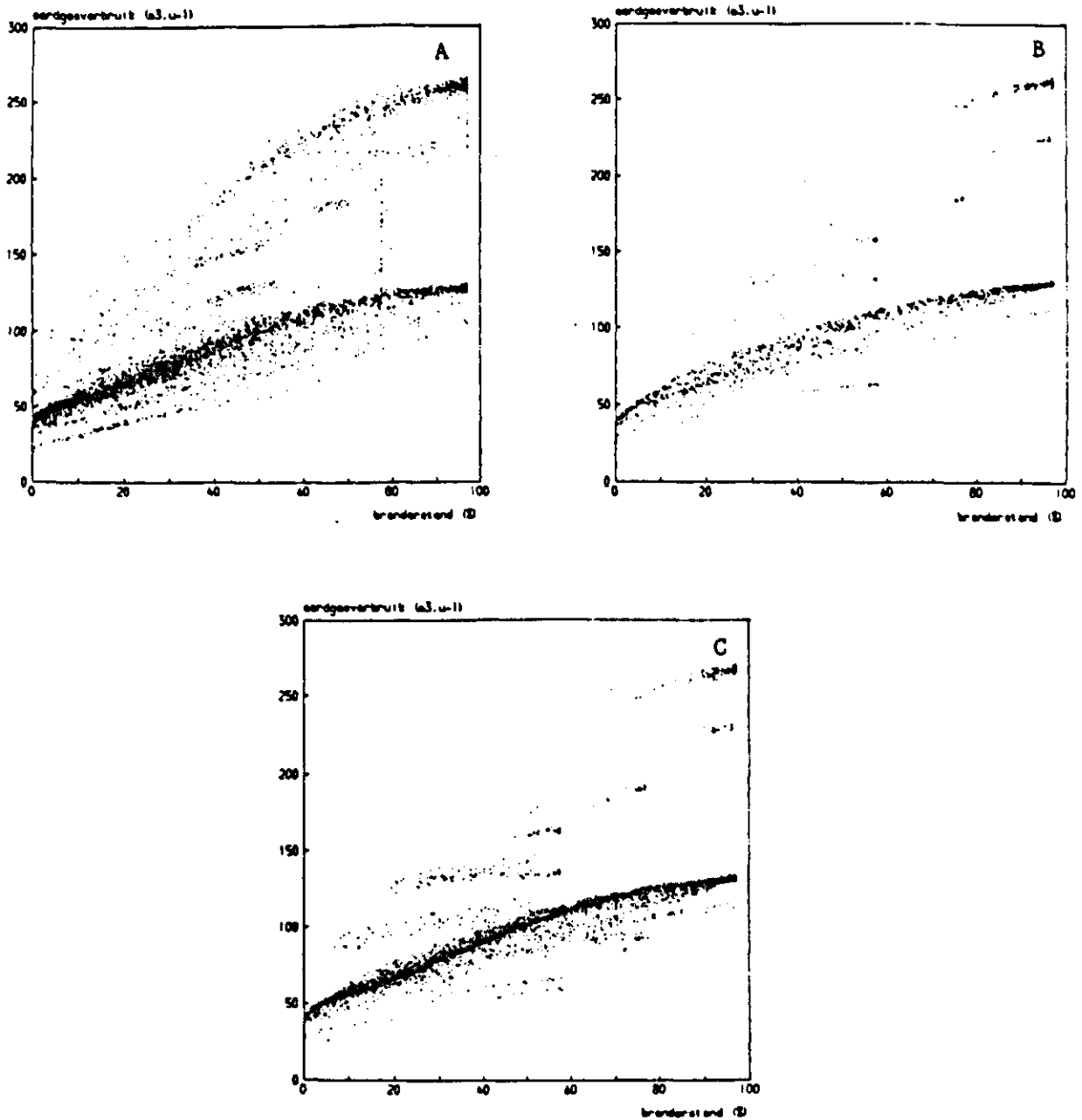
Figuur IV.8.2. Jaarbelastingduurkromme van intensieve meetbedrijven over dezelfde uren van 1990 (globaal van dag 41 t/m 343).

BIJLAGE IV.9. AARDGASVERBRUIK ALS FUNKTIE VAN BRANDERSTAND

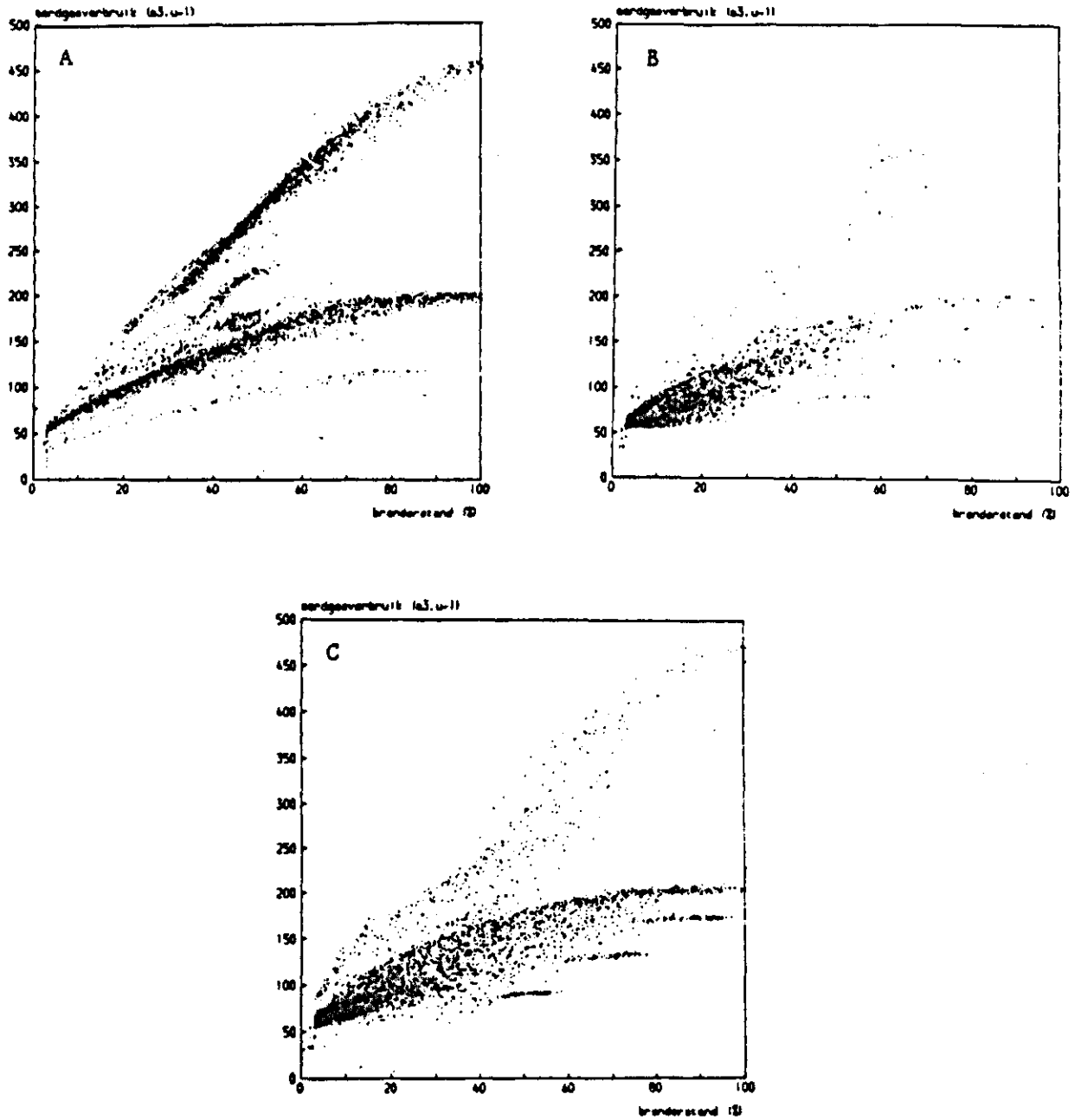
Figuren van paragraaf 4.5.4



Figuur IV.9.1. Aardgasverbruik als functie van branderstand van bedrijf 1 in december 1989 (A), februari 1990 (B), juli 1990 (C) en oktober 1990 (D).



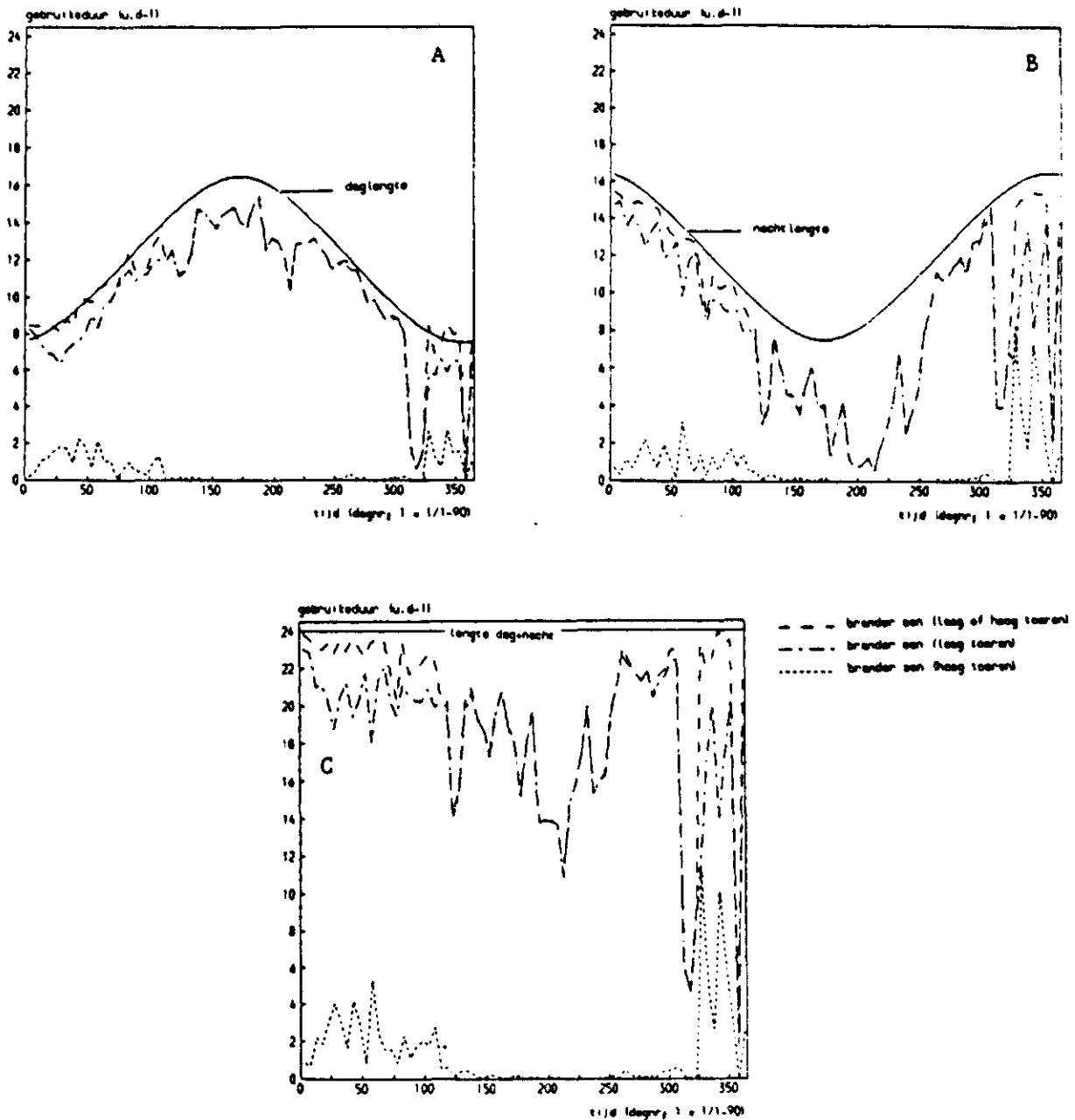
Figuur IV.9.2. Aardgasverbruik als functie van branderstand van bedrijf 2 in februari 1990 (A), juli 1990 (B) en oktober 1990 (C).



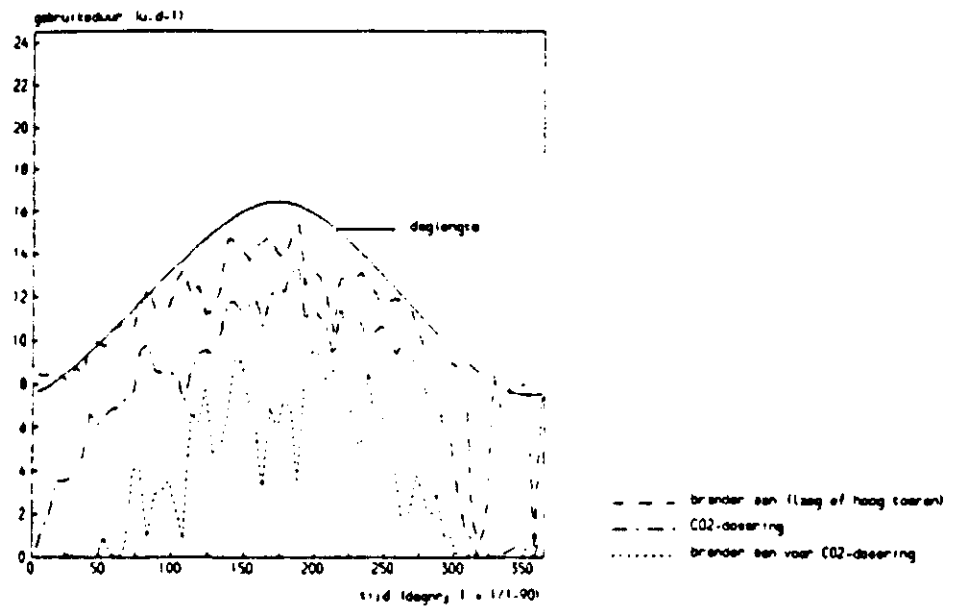
Figuur IV.9.3. Aardgasverbruik als functie van branderstand van bedrijf 3 in februari 1990 (A), juli 1990 (B) en oktober 1990 (C).

BIJLAGE IV.10. JAARVERLOOP VAN WARMTEVRAAG EN CO₂-DOSERING

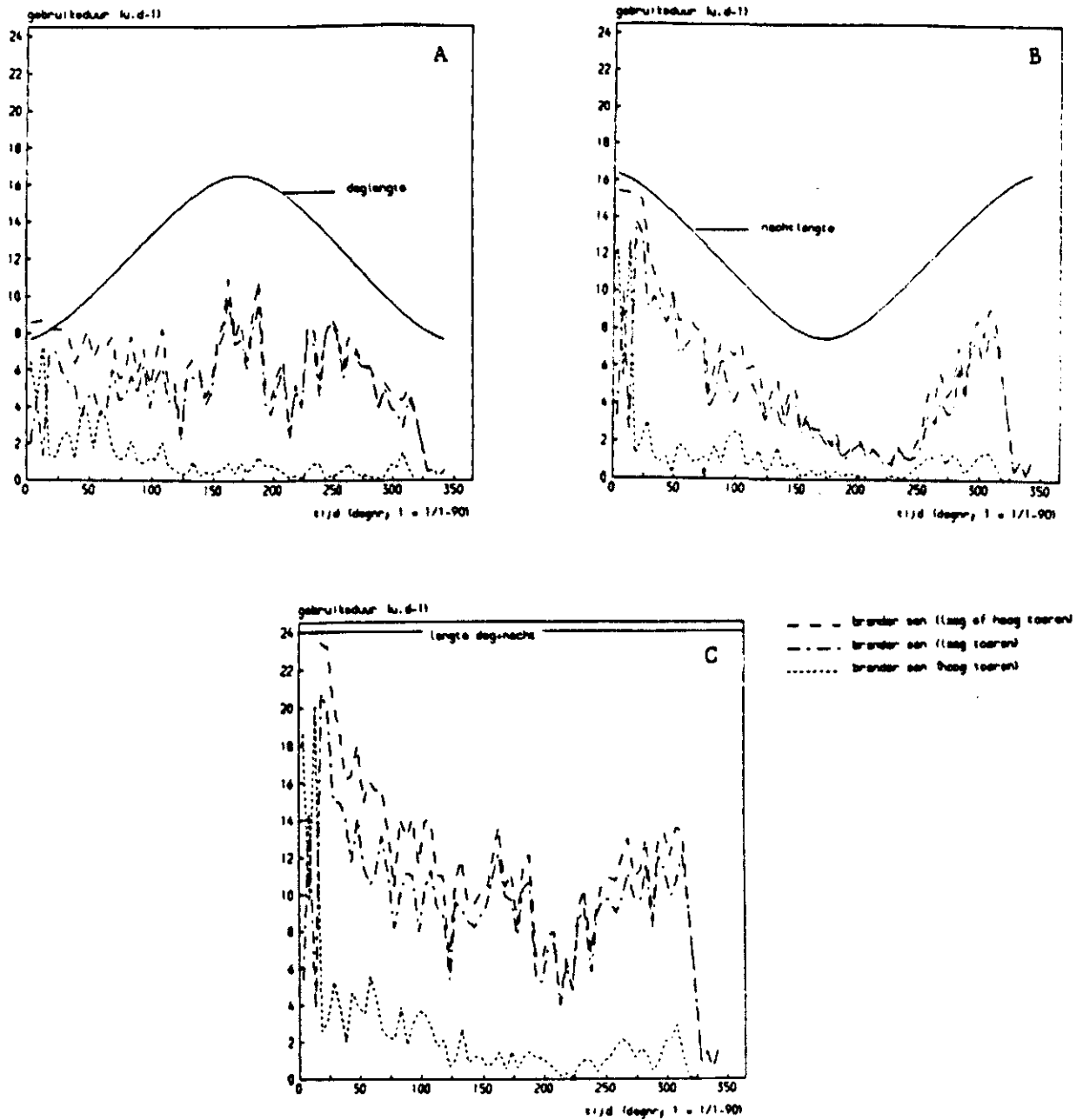
Figuren van paragraaf 4.6



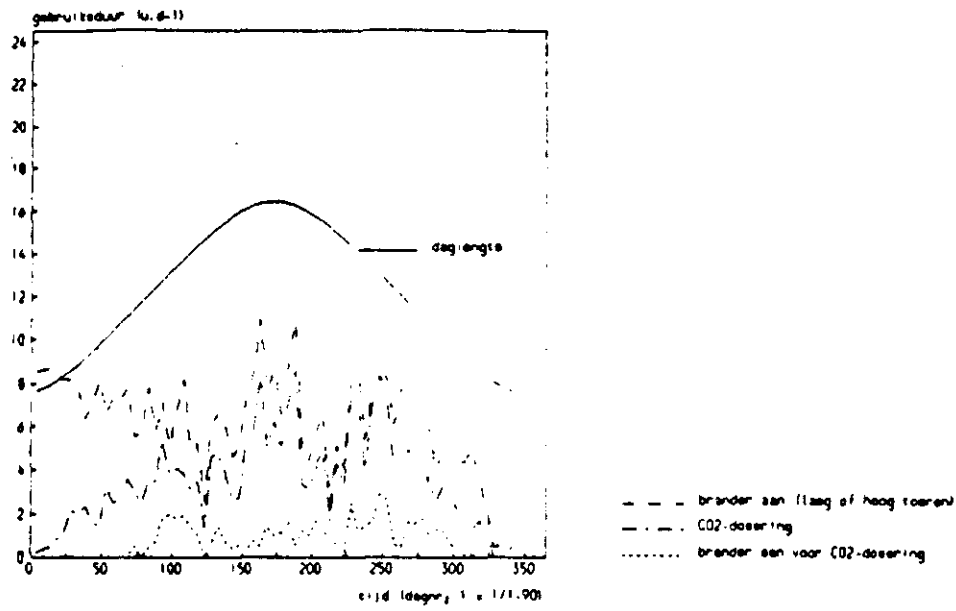
Figuur IV.10.1. Jaarverloop van warmtevraag uitgedrukt in gebruiksduur van brander van bedrijf 1 in 1990 (A = overdag; B = 's nachts; C = etmaal).



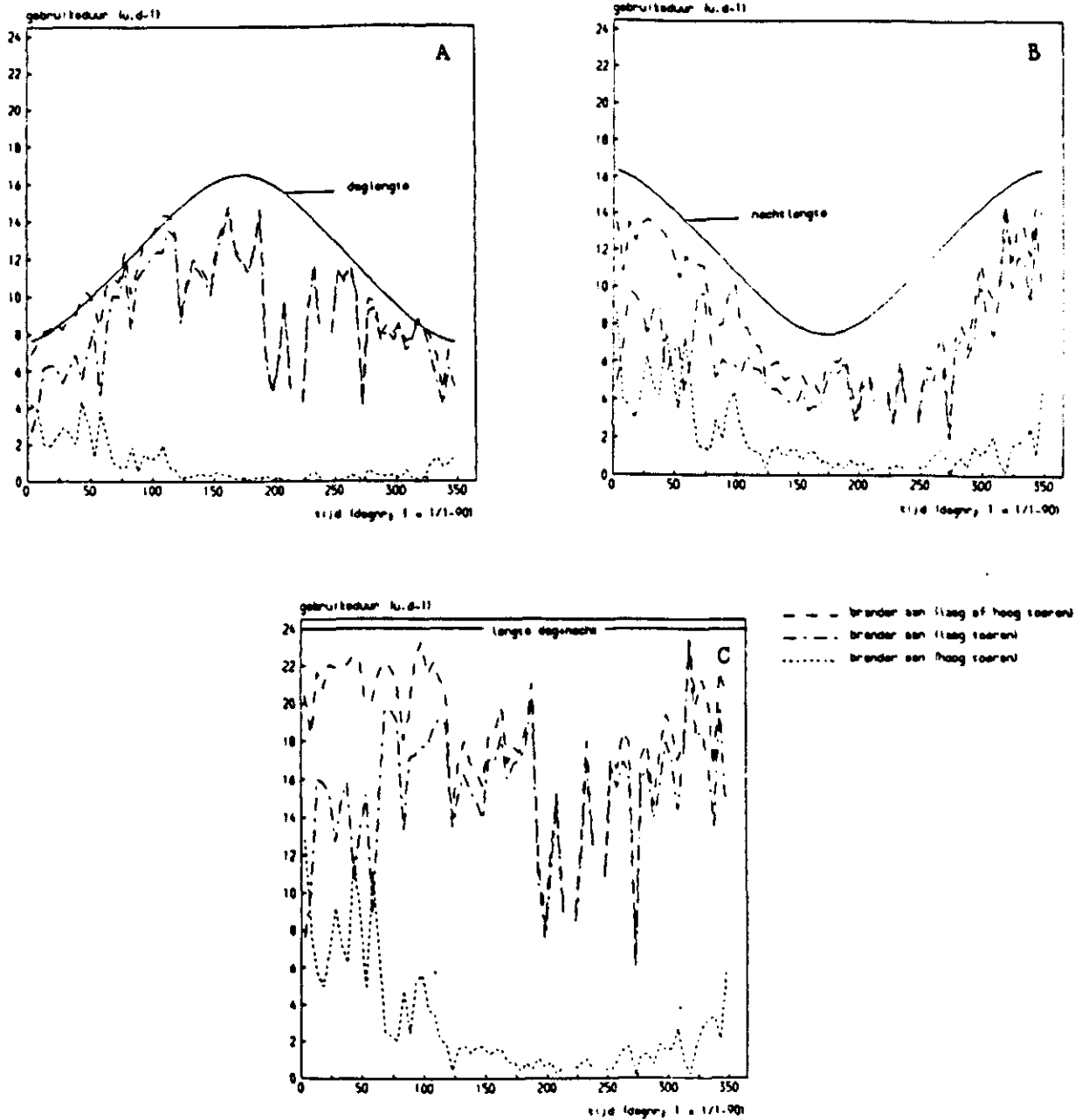
Figuur IV.10.2. Jaarverloop van warmtevraag uitgedrukt in gebruiksduur van brander en jaarverloop van CO2-dosering van bedrijf 1 overdag in 1990.



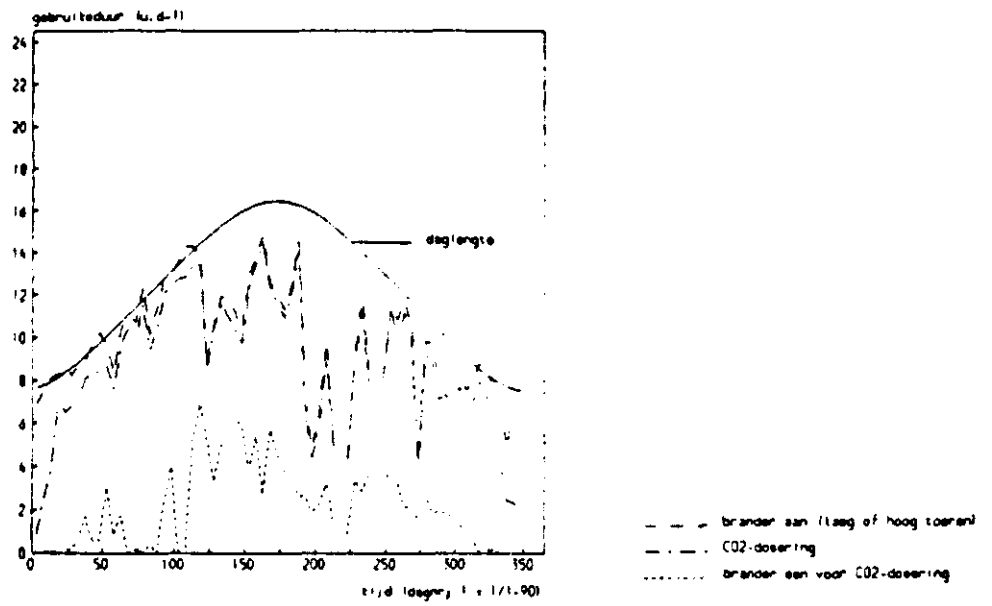
Figuur IV.10.3. Jaarverloop van warmtevraag uitgedrukt in gebruiksduur van brander van bedrijf 2 in 1990 (A = overdag; B = 's nachts; C = etmaal).



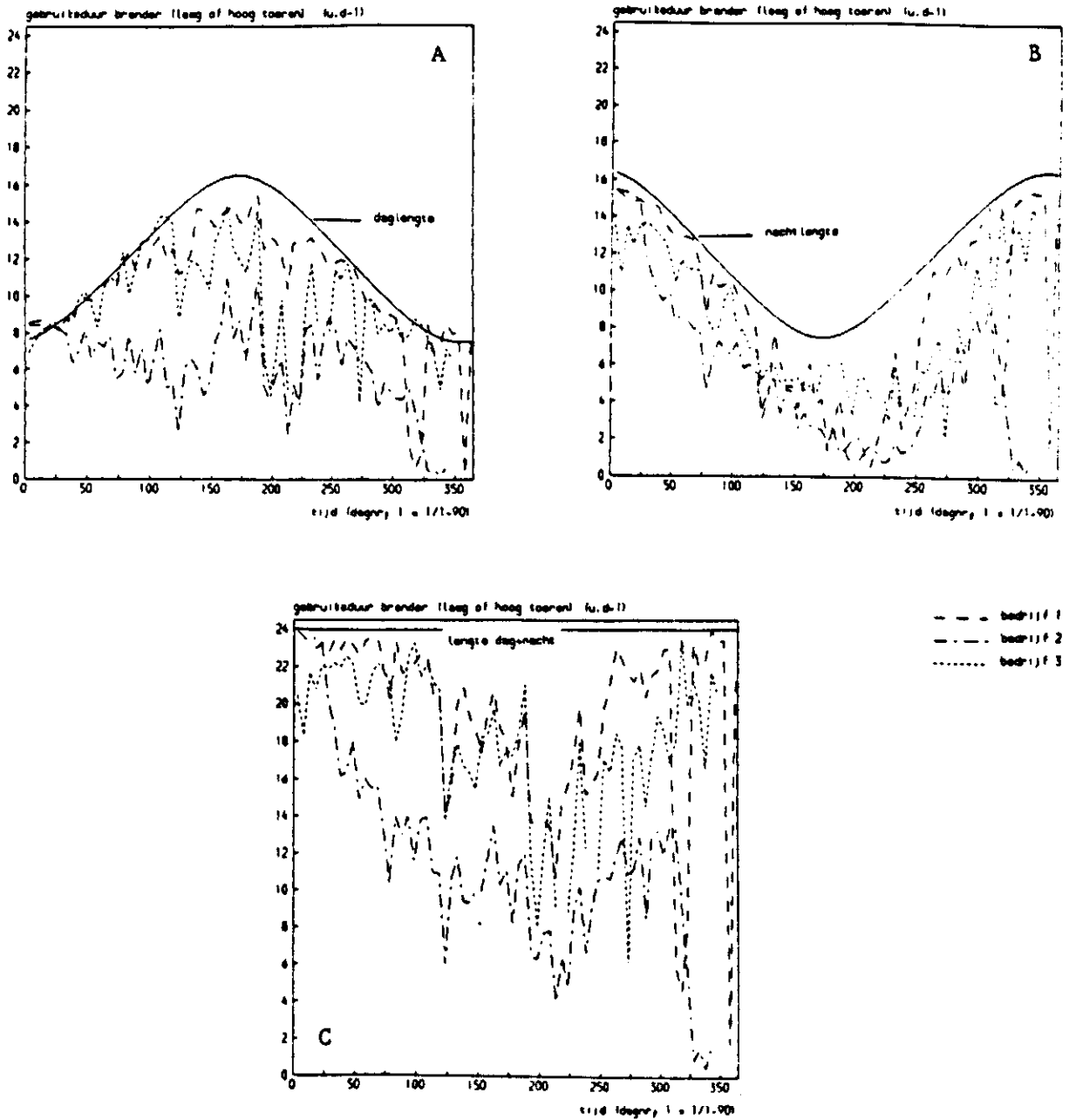
Figuur IV.10.4. Jaarverloop van warmtevraag uitgedrukt in gebruiksduur van brander en jaarverloop van CO2-dosering van bedrijf 2 overdag in 1990.



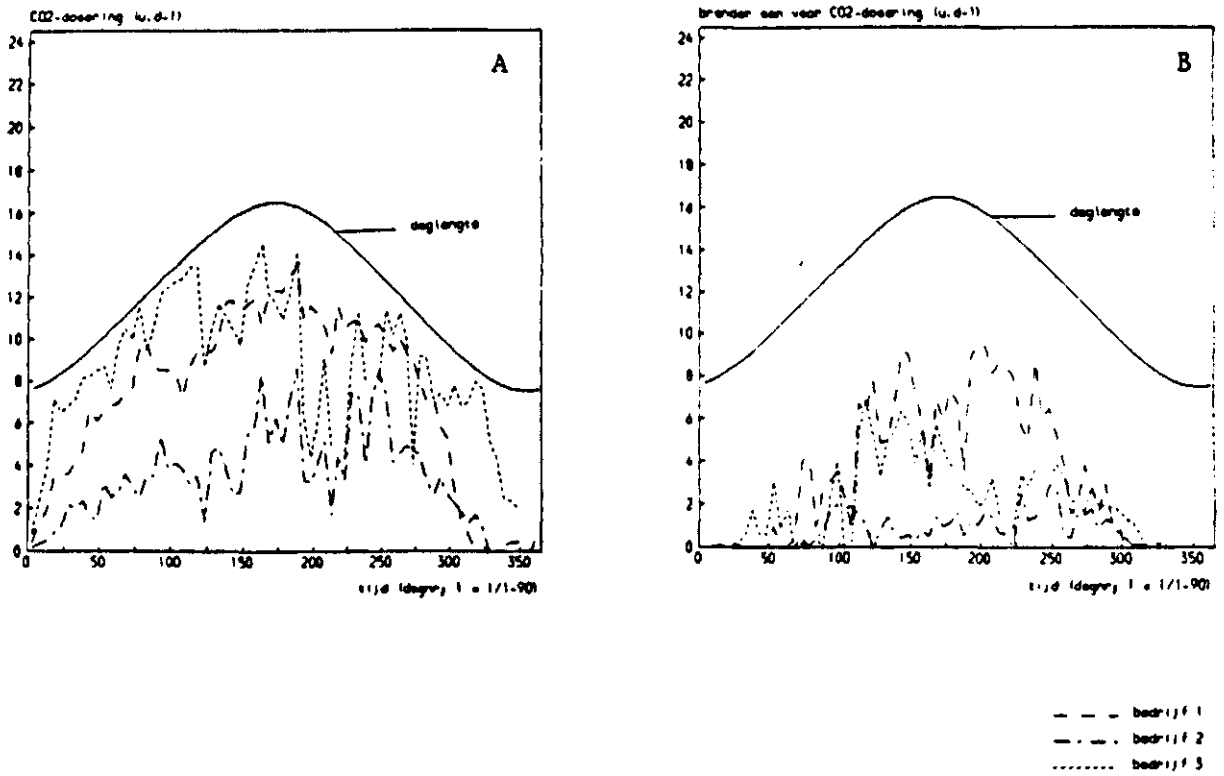
Figuur IV.10.5. Jaarverloop van warmtevraag uitgedrukt in gebruiksduur van brander van bedrijf 3 in 1990 (A = overdag; B = 's nachts; C = etmaal).



Figuur IV.10.6. Jaarverloop van warmtevraag uitgedrukt in gebruiksduur van brander en jaarverloop van CO2-dosering van bedrijf 3 overdag in 1990.



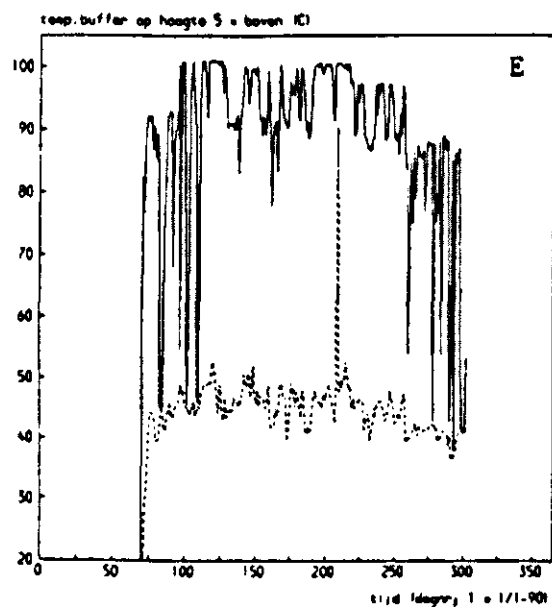
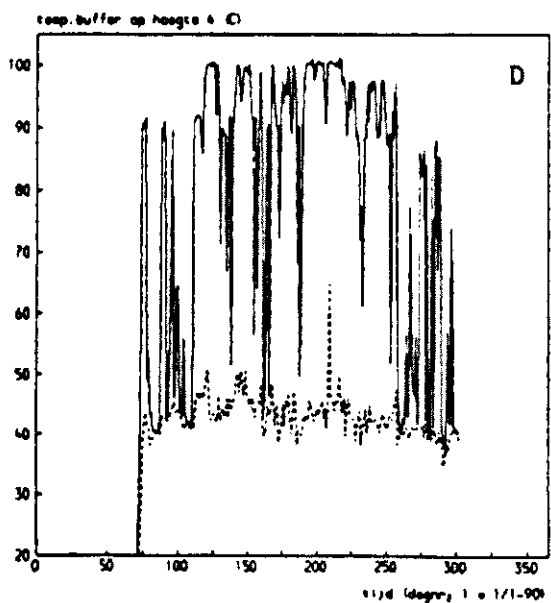
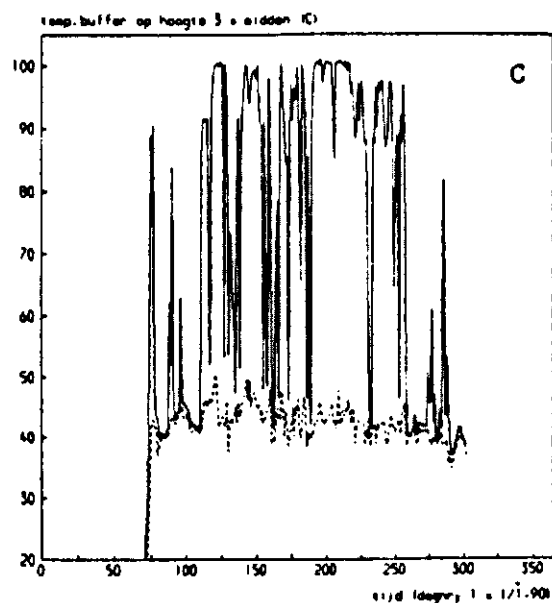
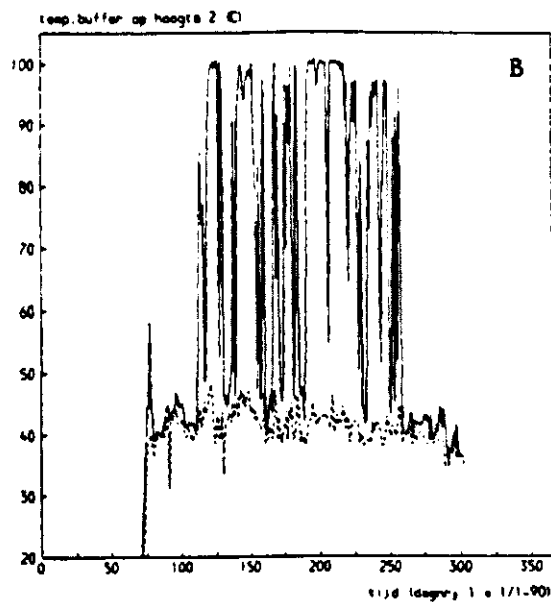
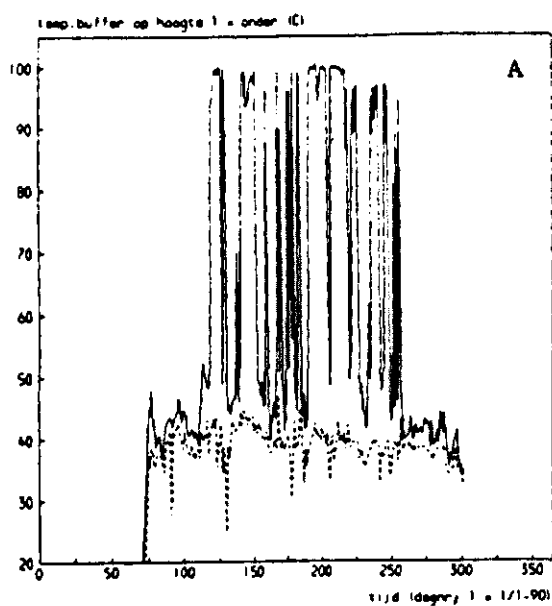
Figuur IV.10.7. Jaarverloop van warmtevraag uitgedrukt in gebruiksduur van brander van bedrijf 1, 2 en 3 in 1990 (A - overdag; B - 's nachts; C - etmaal).



Figuur IV.10.8. Jaarverloop van CO2-dosering (A) en van aanvullende uren warmteopwekking voor CO2-dosering (B) van bedrijf 1, 2 en 3 overdag in 1990.

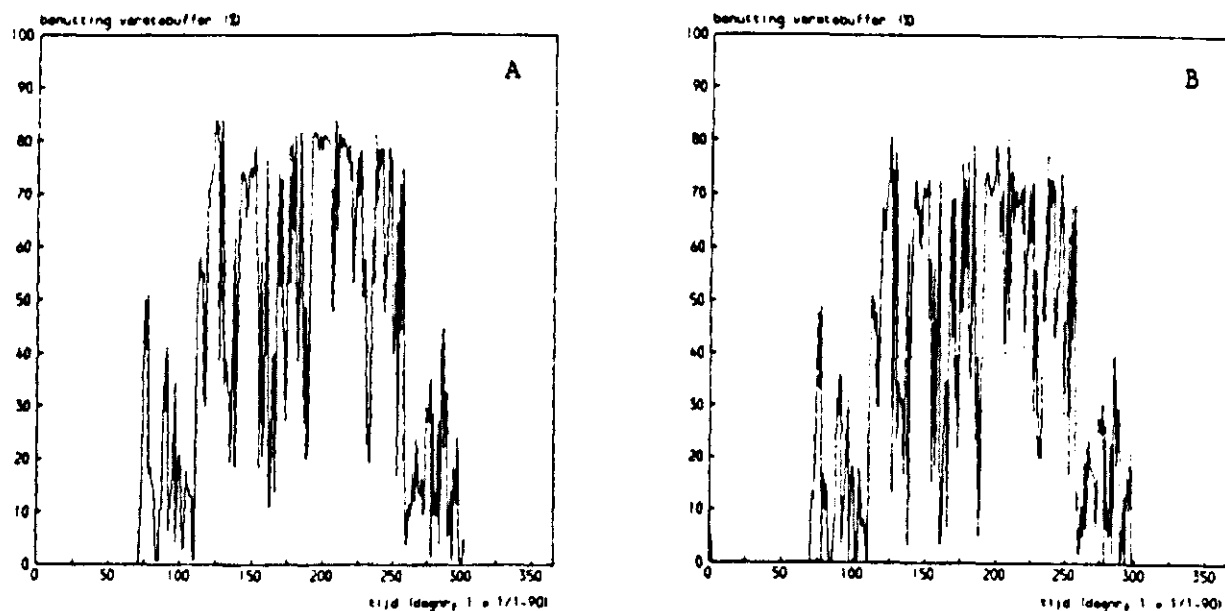
BIJLAGE IV.11. GEBRUIK VAN WARMTEBUFFER

Figuren van paragraaf 4.7

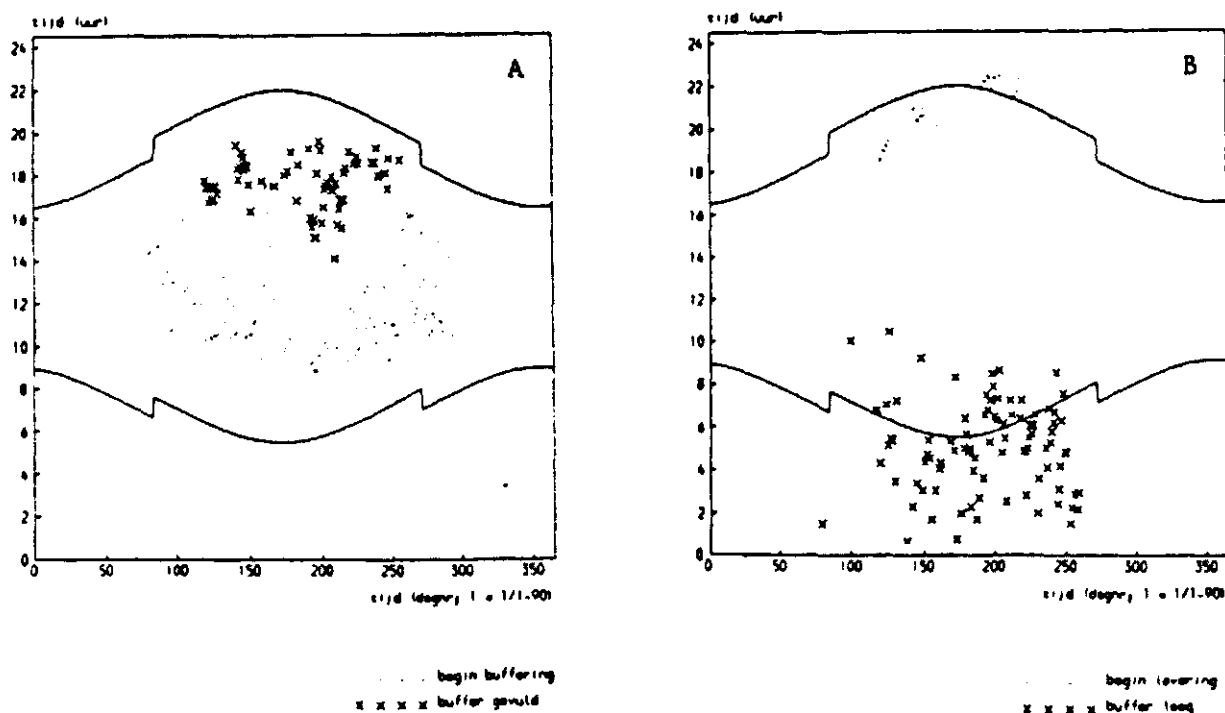


— maximum temperatuur
 minimum temperatuur

Figuur IV.11.1.
 Verloop van minimum en maximum
 temperatuur van water in warmtebuffer
 van bedrijf 1 in 1990 op 5 hoogten
 (A = onder; B = tussen A en C;
 C = midden; D = tussen C en E;
 E = boven).



Figuur IV.11.2. Benutting van warmtebuffer van bedrijf 1 in 1990 berekend uit temperaturen op 5 hoogten (A) of uit netto-warmteflux van warmtebuffer (B) bij aanname dat benutting van 100 % is warmtebuffer van 30 naar 100 C wordt opgewarmd.



Figuur IV.11.3. Periode van bufferen (A) en leveren (B) van warmtebuffer van bedrijf 1 in 1990.

BIJLAGE V. THEORETISCHE BEREKENING VAN RENDEMENT WARMTEOPSLAG

Onderstaande berekening van het rendement van warmteopslag is uitgevoerd door dhr. H. Mooren (IKC - Naaldwijk).

Dimensies warmtebuffer (van bedrijf 1):

- inhoud: 140 m³
- lengte: 14 m (= l_e)
- diameter: 3.5 m
- isolatie: 0.1 m (= S₂)
- wanddikte: 0.005 m (= S₁)
- doorsnede:
$$\begin{array}{c} | \text{-Isol-} | W | \text{---water---} | W | \text{-Isol-} | \\ < \text{-----} d_3 \text{-----} > \\ < \text{-----} d_2 \text{-----} > \\ < \text{----} d_1 \text{----} > \end{array}$$

Parameters:

- A₁ = warmteoverdrachtscoëff. vat - buitenlucht = 350 W.m⁻².K⁻¹
- A₂ = warmteoverdrachtscoëff. water - metalen wand = 25 W.m⁻².K⁻¹
- L₁ = warmtegeleidingscoëff. metalen wand = 50 W.m⁻¹.k⁻¹
- L₂ = warmtegeleidingscoëff. isolatie = 0.4 W.m⁻¹.k⁻¹

Warmteflux door vlakke wand:

$$Q = k * A * dT \quad (\text{vgl. 1, VDI-Wärmeatlas, 5. Auflage 1988})$$

met:

$$1/k = 1/A_1 + S_1/L_1 + S_2/L_2 + 1/A_2 \quad (\text{vgl. 5, VDI-Wärmeatlas, 5. Auflage 1988})$$

Daarmee wordt warmtestroom door voor- en achter-'deksel' van warmtebuffer:

$$\frac{Q}{dT} = \frac{2 * \pi * r * r}{1/A_1 + S_1/L_1 + S_2/L_2 + 1/A_2} = \frac{2 * \pi * 1.75 * 1.75}{1/350 + 0.005/50 + 0.1/0.4 + 1/25} = 65.68 \text{ W.K}^{-1}$$

Warmtestroom door cylinder (vgl. 17, VDI-Wärmeatlas, 5. Auflage 1988):

$$\begin{aligned} \frac{Q}{dT} &= \frac{l_e * \pi}{1/(A_1 * d_1) + 1/(2 * L_1) * \ln(d_2/d_1) + 1/(2 * L_2) * \ln(d_3/d_2) + 1/(A_2 * d_3)} \\ &= \frac{14 * \pi}{1/(350 * 3.5) + 1/(2 * 50) * \ln(3.51/3.5) + 1/(2 * 0.4) * \ln(3.71/3.51) + 1/(25 * 3.71)} \\ &= 543.69 \text{ W.K}^{-1} \end{aligned}$$

Totale afkoeling van warmtebuffer:

$$Q_{\text{tot}}/dT = Q_{\text{deksels}}/dT + Q_{\text{cylinder}}/dT = 65.68 + 543.69 = 609.38 \text{ W.K}^{-1}$$

Uitgangspunten voor rendementsberekening:

- gebruikstijd warmtebuffer: 10, 12 of 14 uur per 24 uur
(periode dat warm water gebufferd wordt)
- opwarmtraject warmtebuffer: a. 45 - 95 => 50 C; gem. temp. = 70 C
b. 30 - 100 => 70 C; gem. temp. = 65 C
- gemiddelde buitentemperatuur: 14 C

Uit warmteafgifte bij gemiddelde temperatuur gedurende de gebruikstijd volgt de afkoeling, bijvoorbeeld voor 10 uur en opwarmtraject 45 - 95 C:

$$\begin{aligned} \text{afkoeling} &= \frac{Q_{\text{tot}} * (\text{gem. temp. buffer} - \text{temp. buiten}) * 10 \text{ uur}}{\text{inhoud} * \text{spec.warmtecap. water}} \\ &= \frac{609.38 * (70 - 14) * 10 * 3600}{140000 * 4180} = 2.10 \text{ C} \end{aligned}$$

Daarna volgt een afkoeling vanaf 45 C gedurende 14 uur:

$$\text{afkoeling} = \frac{609.38 * (45 - 14) * 14 * 3600}{140000 * 4180} = 1.62 \text{ C}$$

De totale afkoeling is dan: 2.10 + 1.62 = 3.72 C

Het gemiddeld gebruiksrendement van de buffer is dan te berekenen uit verhouding van afkoeling t.o.v. opwarmtraject (95 - 45 = 50 C):

$$\text{rendement} = (1 - 3.72 / 50) * 100 \% = 92.6 \%$$

Overzicht van berekende gebruiksrendementen:

opwarmtraject	gebruikstijd warmtebuffer		
	10 uur	12 uur	14 uur
45 - 95 C	92.6 %	92.2 %	91.8 %
30 - 100 C	94.5 %	94.0 %	93.6 %

Bij een warmtebuffer met een andere dimensie wijzigt het rendement. Bijvoorbeeld voor een buffer met doorsnede van 3 m en lengte van 19 m (inhoud ook 140 m³), is de warmteafgifte ongeveer 20 % hoger en het rendement daardoor ongeveer 1.5 % lager (absoluut).